

# PROJECTION EXPOSURE METHOD AND APPARATUS AND PROJECTION OPTICAL SYSTEM

Publication number: WO0123935 (A1)

Publication date: 2001-04-05

Inventor(s): OMURA YASUHIRO [JP]

Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK [JP]; OMURA YASUHIRO [JP]

Classification:

- International: G02B13/14; G02B13/18; G02B13/22; G02B13/24; G03F7/20;  
G02B13/14; G02B13/18; G02B13/22; G02B13/24; G03F7/20;  
(IPC1-7): G02B13/24; G02B13/18; G03F7/20; H01L21/027

- European: G02B13/14B; G02B13/18; G02B13/22; G02B13/24;  
G03F7/20T16; G03F7/20T24; G03F7/20T26

Application number: WO2000JP06706 20000928

Priority number(s): WO1999JP05329 19990929; WO1999JP06387 19991116

Also published as:

EP1139138 (A1)

EP1139138 (A4)

US6606144 (B1)

Cited documents:

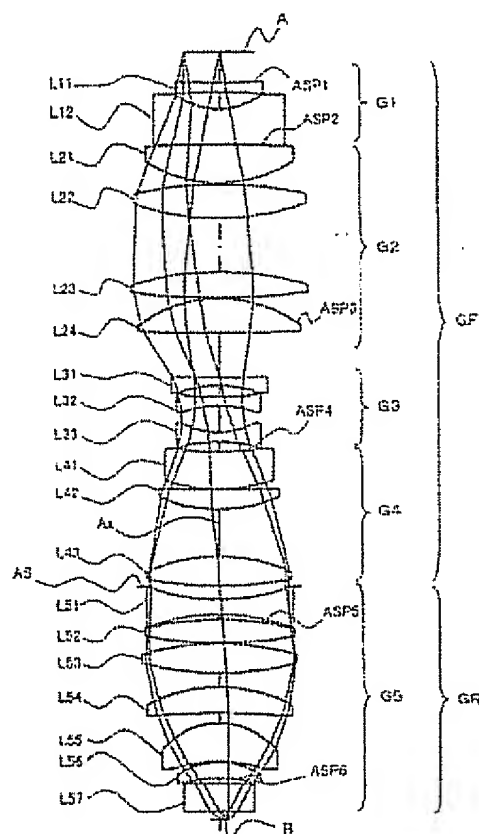
JP11133301 (A)

US5808814 (A)

JP9329742 (A)

## Abstract of WO 0123935 (A1)

A refractive projection optical system preferable to a projection exposure apparatus used at a lithography step when a microdevice such as a semiconductor device is fabricated. The projection optical system comprises a positive front lens group (GF), an aperture stop (AS), and a positive rear lens group (GR) and is a both-side telecentric optical system. The relationship between the focal length  $f_2$  of the rear lens group (GR) and the overall distance  $L$  is  $0.065 < f_2 / L < 0.125$ . The projection optical system includes at least one aspherical surface (ASP1-ASP6).



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2001年4月5日 (05.04.2001)

PCT

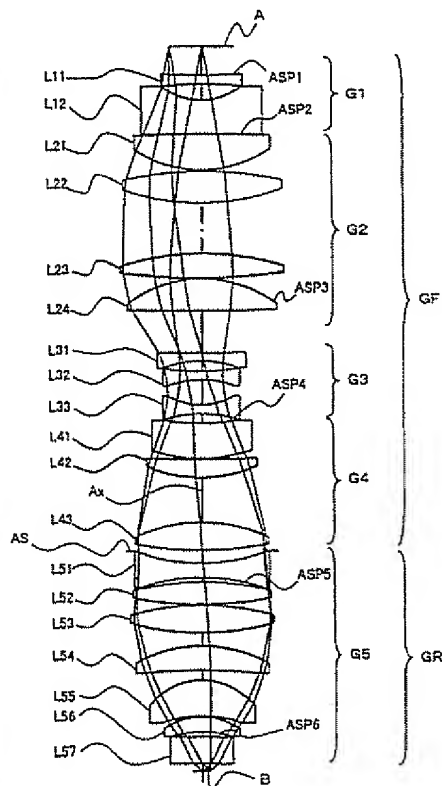
(10) 国際公開番号  
WO 01/23935 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 13/24, 13/18, (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社  
H01L 21/027, G03F 7/20 ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331  
(21) 国際出願番号: PCT/JP00/06706 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル Tokyo  
(JP).  
(22) 国際出願日: 2000年9月28日 (28.09.2000) (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大村泰弘  
(25) 国際出願の言語: 日本語 (OMURA, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代  
田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル 株式会社 ニコン  
(26) 国際公開の言語: 日本語 知的財産部内 Tokyo (JP).  
(30) 優先権データ: (74) 代理人: 大森 聡 (OMORI, Satoshi); 〒214-0014 神奈  
川県川崎市多摩区登戸2075番2-501 大森特許事務所  
特願平 PCT/JP99/05329 1999年9月29日 (29.09.1999) JP Kanagawa (JP).  
特願平 PCT/JP99/06387 1999年11月16日 (16.11.1999) JP (81) 指定国 (国内): JP, KR, US.

[続票有]

(54) Title: PROJECTION EXPOSURE METHOD AND APPARATUS AND PROJECTION OPTICAL SYSTEM

(54) 発明の名称: 投影露光方法及び装置、並びに投影光学系



(57) Abstract: A refractive projection optical system preferable to a projection exposure apparatus used at a lithography step when a microdevice such as a semiconductor device is fabricated. The projection optical system comprises a positive front lens group (GF), an aperture stop (AS), and a positive rear lens group (GR) and is a both-side telecentric optical system. The relationship between the focal length  $f_2$  of the rear lens group (GR) and the overall distance  $L$  is  $0.065 < f_2 / L < 0.125$ . The projection optical system includes at least one aspherical surface (ASP1-ASP6).

[続票有]



WO 01/23935 A1



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約:

半導体素子等のマイクロデバイス製造時のリソグラフィ工程で用いる投影露光装置に好適な屈折型の投影光学系である。この投影光学系は、正の前レンズ群 (GF)、開口絞り (AS) 及び正の後レンズ群 (GR) を含み、両側テレセントリックな光学系である。そして、後レンズ群 (GR) の焦点距離を  $f_2$ 、物像間距離を  $L$  とするとき、次の条件を満足する。

$$0.065 < f_2 / L < 0.125$$

そして、投影光学系は、少なくとも1面の非球面 (ASP1~ASP6) を含む。

## 明 細 書

投影露光方法及び装置、並びに投影光学系

## 5 技術分野

本発明は、例えば半導体集積回路、CCD等の撮像素子、液晶ディスプレイ、または薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ技術を用いて製造する際に用いられる投影露光装置及び方法、並びにそのような投影露光装置に好適な投影光学系に関する。また、本発明は、上  
10 記投影露光装置及び投影光学系を製造する方法に関する。

## 背景技術

近年、半導体集積回路等のマイクロデバイスの回路パターンの微細化に伴い、ステッパ等の露光装置で使用される露光用の照明光（露光光）  
15 の波長は年々短波長化してきている。すなわち、露光光としては、従来主に使用されていた水銀ランプのi線（波長：365nm）に代わってKrFエキシマレーザ光（波長：248nm）が主流となっており、さらに、それよりも短波長のArFエキシマレーザ光（波長：193nm）も実用化されつつある。また、さらなる露光光の短波長化を目的として、F<sub>2</sub>レーザ（波長：157nm）のようなハロゲン分子レーザ等  
20 の使用も試みられている。

さて、波長200nm以下の真空紫外域の光源としては、上述したエキシマレーザやハロゲン分子レーザ等があるが、それらの実用的な狭帯化には限界がある。

25 また、この真空紫外域の放射光を透過させる材料が限定されるため、投影光学系を構成するレンズ素子の材料は限られたものしか使用できず、

この限られた材料の透過率もそれほど高いものではない。そして、現状では、レンズ素子の表面に設けられる反射防止コートのパフォーマンスも、長波長用のものと比べるとあまり高性能なものが得られていない。

本発明は、投影光学系の色収差を抑え、光源への負担を低減させることを第1の目的とする。

また、本発明は、単一種類の硝材、或いは少数の色補正用硝材の追加により、ある程度のスペクトル幅を有する露光光に対する色収差補正を行うことを第2の目的とする。

また、本発明は、投影光学系の構成の簡素化を図りつつも、極めて微細化されたマイクロデバイスの回路パターンを得ることを第3の目的とする。

また、本発明は、極めて微細化されたマイクロデバイスの回路パターンを、スループットを低下させずに得ることを第4の目的とする。

## 15 発明の開示

上述の第1又は第2の目的を達成するために、本発明による第1の投影光学系は、第1面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用により第2面上に結像させる屈折型の投影光学系であって、その第1面とその第2面との間の光路中に配置されて、正の屈折力を有する前レンズ群と、その前レンズ群とその第2面との間の光路中に配置されて、正の屈折力を有する後レンズ群と、その前レンズ群の後側焦点位置近傍に配置された開口絞りとを有し、その投影光学系は、その第1面及びその第2面側がテレセントリックであり、その後レンズ群の焦点距離を $f_2$ とし、その第1面からその第2面までの距離を $L$ とするととき、次の条件を満足するものである。

$$0.065 < f_2 / L < 0.125$$

また、本発明による投影光学系の第1の製造方法は、第1面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用により第2面上に結像させる屈折型の投影光学系の製造方法であって、正の屈折力を有する前レンズ群を配置する工程と、この前レンズ群とその第2面との間に、正の屈折力を有する後レンズ群を配置する工程と、その前レンズ群とその後レンズ群との間に、開口絞りを配置する工程を含み、その前レンズ群、その後レンズ群、及びその開口絞りは、その第1面及びその第2面側がテレセントリックであるように配置し、その後レンズ群の焦点距離を $f_2$ とし、その第1面からその第2面までの距離を $L$ とすると、次の条件を満足するものを用いるものである。

$$0.065 < f_2 / L < 0.125$$

また、上述の第1又は第2の目的を達成するために、本発明による第2の投影光学系は、第1面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用により第2面上に結像させる屈折型の投影光学系において、屈折力を持つ3個以上のレンズを有し、その屈折力を持つレンズをその第1面側から順に3個選択したときに、この3個のレンズの少なくとも一面が負の屈折力を持つ非球面形状であるものである。

また、上述の第1又は第2の目的を達成するために、本発明による第3の投影光学系は、第1面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用により第2面上に結像させる屈折型の投影光学系において、屈折力を持つ複数個のレンズを有し、その屈折力を持つレンズをその第1面から順に2個選択したときに、この2個のレンズの少なくとも一面が非球面であり、この非球面の光軸中心付近のローカル主曲率を $C_a$ 、この非球面のレンズ有効径最周辺部のメリジオナル方向のローカル主曲率を $C_b$ とすると、その非球面が負の屈折力を有する場合に、次の条件が成立するものである。

$$C_b / C_a < 0.7 \quad \dots (b-1)$$

一方、本発明において、その非球面が正の屈折力を有する場合には、次の条件が成立する。

$$C_b / C_a > 1.6 \quad \dots (b-2)$$

- 5 この発明において、その非球面の光軸中心付近のローカル主曲率  $C_a$ 、及びその非球面のレンズ有効径最周辺部のメリジオナル方向のローカル主曲率  $C_b$  は、一例として以下のように表すことができる。即ち、その非球面の光軸からの高さを  $Y$ 、非球面頂点における接平面から非球面までの光軸方向の距離を  $z$ 、頂点曲率半径を  $r$ 、円錐係数を  $\kappa$ 、非球面係数を  $A, B, C, D, E, F$  として、その非球面を次式 (b-3) で表す。

$$z(Y) = \frac{Y^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)Y^2/r^2}} + AY^4 + BY^6 + CY^8 + DY^{10} + EY^{12} + FY^{14} \quad \dots (b-3)$$

このときに、ローカル主曲率  $C_a$  及び  $C_b$  はそれぞれ次のようになる。

15  $C_a = 1/r \quad \dots (b-4)$

$$C_b = \frac{d^2 z / d^2 Y}{\{1 + (dz/dY)^2\}^{3/2}} \quad \dots (b-5)$$

- 20 投影光学系の開口数の増大、及び像視野の大型化に伴い、歪曲収差をできるだけ小さくすることに対する要求は益々高まっている。他の収差への影響を抑えて歪曲収差のみを補正するためには、できるだけ物体面（マスク）に近い位置に歪曲収差補正のための非球面を配置することが好ましい。この際に、その非球面が上記の条件式 (b-1) 又は (b-2) を満たすことによって、開口数が増大し、像視野が大型化しても、歪曲収差を良好に補正することができる。

- 25 また、上述の第1又は第2の目的を達成するために、本発明による第4の投影光学系は、第1面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用

により第2面上に結像させる屈折型の投影光学系において、屈折力を持つ4個以上のレンズを有し、その屈折力を持つレンズをその第1面から順に4個選択したときに、この4個のレンズの少なくとも一面が非球面であり、この非球面の光軸中心付近のローカル主曲率を $C_a$ 、この非球面のレンズ有効径最周辺部のメリジオナル方向のローカル主曲率を $C_b$ とすると、その非球面が負の屈折力を有する場合に、次の条件が成立するものである。

$$C_b / C_a < 0.45 \quad \dots (c-1)$$

一方、本発明において、その非球面が正の屈折力を有する場合には、次の条件が成立する。

$$C_b / C_a > 2.3 \quad \dots (c-2)$$

本発明においても、ローカル主曲率 $C_a$ 、 $C_b$ は一例として上記の(b-4)式、(b-5)式で表すことができる。そして、非球面が上記の条件式(c-1)又は(c-2)を満たすことによって、開口数が増大し、像視野が大型化しても、歪曲収差を良好に補正することができる。

また、上述の第3の目的を達成するために、本発明による第5の投影光学系は、第1面上のパターンの縮小像を第2面上に結像させる投影光学系であって、第1面側より順に、負の屈折力を有する第1レンズ群、正の屈折力を有する第2レンズ群、負の屈折力を有する第3レンズ群、正の屈折力を有する第4レンズ群、開口絞り、及び正の屈折力を有する第5レンズ群を有し、その第1レンズ群及びその第2レンズ群の合成横倍率を $\beta_1$ とし、その第1面からその第2レンズ群の最もその第2面側のレンズ面までの距離を $L_1$ 、その第1面からその第2面までの距離を $L$ とすると、次の条件を満足するものである。

$$-1.3 < 1 / \beta_1 < 0$$

$$0.08 < L_1 / L < 0.17$$

また、本発明による投影光学系の第2の製造方法は、第1面上のパターンの縮小像を第2面上に結像させる投影光学系の製造方法であって、負の屈折力を有する第1レンズ群を準備する工程と、正の屈折力を有する第2レンズ群を準備する工程と、負の屈折力を有する第3レンズ群を準備する工程と、正の屈折力を有する第4レンズ群を準備する工程と、開口絞りを準備する工程と、正の屈折力を有する第5レンズ群を準備する工程と、その第1面側より順に、その第1レンズ群、その第2レンズ群、その第3レンズ群、その第4レンズ群、その開口絞り、及びその第5レンズ群の順に配置する工程とを含み、その第1第1レンズ群及びその第2レンズ群の合成横倍率を $\beta_1$ とし、その第1面からその第2レンズ群の最もその第2面側のレンズ面までの距離を $L_1$ 、その第1面からその第2面までの距離を $L$ とすると、次の条件を満足するようにその第1及び第2レンズ群を準備するものである。

$$-1.3 < 1 / \beta_1 < 0$$

そして、次の条件を満足するようにその第1及び第2レンズ群を配置するものである。

$$0.08 < L_1 / L < 0.17$$

また、上述の第3の目的を達成するために、本発明による第6の投影光学系は、第1面上のパターンの縮小像を第2面上に結像させる投影光学系であって、その投影光学系の光路中に配置される少なくとも1つの光透過性屈折部材を含み、その投影光学系の光路中に配置される光透過性屈折部材の光軸に沿った厚さの総和を $C$ とし、その第1面からその第2面までの距離を $L$ とすると、次の条件を満足するものである。

$$0.46 < C / L < 0.64$$

また、本発明による投影光学系の第3の製造方法は、第1面上のパタ

ーンの縮小像を第2面上に結像させる投影光学系の製造方法であって、負の屈折力を有する第1レンズ群を準備する工程と、正の屈折力を有する第2レンズ群を準備する工程と、負の屈折力を有する第3レンズ群を準備する工程と、正の屈折力を有する第4レンズ群を準備する工程と、開口絞りを準備する工程と、正の屈折力を有する第5レンズ群を準備する工程と、その第1面側より順に、その第1レンズ群、その第2レンズ群、その第3レンズ群、その第4レンズ群、その開口絞り、及びその第5レンズ群の順に配置する工程と、を含み、その投影光学系の光路中に配置される光透過性屈折部材の光軸に沿った厚さの総和をCとし、その第1面からその第2面までの距離をLとすると、次の条件を満足するようにその第1レンズ群～第5レンズ群を準備するものである。

$$0.46 < C/L < 0.64$$

また、上述の第3の目的を達成するために、本発明による第7の投影光学系は、第1面上のパターンの縮小像を第2面上に結像させる投影光学系であって、少なくとも3面以上の非球面形状のレンズ面を有し、その投影光学系中の光透過性屈折部材のうち屈折力を有する部材の数の総和をEとし、非球面形状のレンズ面が設けられた部材の数の総和をE<sub>a</sub>とすると、を満足するものである。

$$0.15 < E_a/E < 0.7$$

また、本発明による投影光学系の第4の製造方法は、第1面上のパターンの縮小像を第2面上に結像させる投影光学系の製造方法であって、光透過性屈折部材が有するレンズ面のうち、少なくとも3面以上が非球面形状となるように、且つその光透過性屈折部材のうち屈折力を有する部材の数の総和をEとし、非球面形状のレンズ面が設けられた部材の数の総和をE<sub>a</sub>とすると、次の条件を満足するようにその光透過性部材を準備する工程と、この光透過性部材を組み上げる工程とを有するもの

である。

$$0.15 < E_a / E < 0.7$$

また、本発明による第1の投影露光装置は、投影原版に設けられたパターンの縮小像をワーク上へ投影露光する投影露光装置であって、露光光を供給する光源と、この光源からの露光光をその投影原版上のそのパターンへ導く照明光学系と、上述の何れかにかかる投影光学系とを備え、その投影光学系のその第1面にその投影原版を配置可能とし、その第2面にそのワークを配置可能としたものである。

また、本発明による第2の投影露光装置は、投影原版に設けられたパターンの縮小像をワーク上で走査させつつ投影露光する投影露光装置であって、露光光を供給する光源と、この光源からの露光光をその投影原版上のそのパターンへ導く照明光学系と、上述の何れかにかかる投影光学系と、その投影光学系のその第1面にその投影原版を配置可能とするための第1ステージと、その第2面にそのワークを配置可能とするための第2ステージとを備え、その第1及び第2ステージは、その投影光学系の投影倍率に対応した速度比で移動可能であるものである。

また、上述の第4の目的を達成するために、本発明による第3の投影露光装置は、投影原版に設けられたパターンの縮小像をワーク上へ投影露光する投影露光装置であって、180nm以下の波長域の露光光を供給する光源と、この光源からの露光光をその投影原版上のそのパターンへ導く照明光学系と、その投影原版とそのワークとの間の光路中に配置されて、その投影原版を介したその露光光の光量の25%以上の光量をそのワークへ導いてそのパターンの縮小像をそのワーク上に形成する投影光学系とを備えるものである。

また、本発明による第1の投影露光方法は、投影原版上に形成されるパターンをワーク上へ投影露光する投影露光方法であって、上述の何れ

かにかかる投影露光装置を用い、その投影原版をその第1面に配置すると共に、そのワークをその第2面に配置し、その投影光学系を介してそのパターンの像をそのワーク上に形成するものである。

また、本発明による第4の投影露光装置、及び第2の投影露光方法は、  
5 投影原版に設けられたパターンの縮小像をワーク上へ投影露光する投影露光装置及び投影露光方法において、それぞれ200nm以下の波長域の露光光を供給する光源と、この光源からの露光光をその投影原版上のそのパターンへ導く照明光学系と、その投影原版とそのワークとの間の光路中に配置されて、その投影原版を介したその露光光をそのワークへ  
10 導いてそのパターンの縮小像をそのワーク上に形成する投影光学系とを備え、その光源からその照明光学系へ向かうその露光光の光量を $E_{n1}$ とし、その照明光学系からその投影原版へ向かうその露光光の光量を $E_{n2}$ とし、その投影光学系へ入射するその露光量の光量を $E_{n3}$ とし、その投影光学系からそのワークへ向かって射出するその露光光の光量を  
15  $E_{n4}$ とすると、次の条件を満足するものである。

$$(E_{n4}/E_{n3}) > (E_{n2}/E_{n1})$$

また、本発明による第1のマイクロデバイスの製造方法は、所定の回路パターンを有するマイクロデバイスの製造方法であって、上述の露光方法を用いてそのワーク上にそのパターンの像を投影露光する工程と、  
20 この投影露光されたそのワークを現像処理する工程とを含むものである。

次に、上述の第1又は第2の目的を達成するために、本発明による第5の投影露光装置は、投影原版上のパターンをワーク上に投影露光する投影露光装置において、200nm以下の波長の露光光をその投影原版へ供給する照明光学系と、その投影原版上のパターンの像を所定の投影  
25 倍率 $\beta$ のもとでそのワーク上に形成する投影光学系とを備え、その投影光学系は、開口絞りと、この開口絞りとその投影原版との間に配置され

た前レンズ群と、その開口絞りとそのワークとの間に配置された後レンズ群とを有し、その投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をディスク材に換算した量を  $y$  (k g)、その後レンズ群の焦点距離を  $f_2$  (mm)、その投影光学系の像側の最大開口数を  $NA_w$  とし、パラメータ  $x$  を次のように規定するときに、

$$x = f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot NA_w^2$$

以下の条件式を満足するものである。

$$y \leq 4x - 200,$$

$$y \leq (4x/13) + (1000/13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$y \geq 0$$

また、本発明による第6の投影露光装置は、投影原版上のパターンをワーク上で走査させつつ投影露光する走査型投影露光装置において、200 nm以下の波長の露光光をその投影原版へ供給する照明光学系と、その投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率  $\beta$  のもとでそのワーク上に形成する投影光学系とを備え、その投影光学系は、開口絞りと、この開口絞りとその投影原版との間に配置された前レンズ群と、その開口絞りとそのワークとの間に配置された後レンズ群とを有し、その投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をディスク材に換算した量を  $y$  (k g)、その後レンズ群の焦点距離を  $f_2$  (mm)、その投影光学系の像側の最大開口数を  $NA_w$  とし、パラメータ  $x$  を次のように規定するときに、

$$x = f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot NA_w^2$$

以下の条件式を満足するものである。

$$y \leq 4x - 200,$$

$$y \leq (4x/13) + (1000/13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$y \geq 0$$

また、本発明による第7の投影露光装置は、投影原版上のパターンをワーク上に投影露光する投影露光装置において、200nm以下の波長の露光光をその投影原版へ供給する照明光学系と、その投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとでそのワーク上に形成する投影光学系とを備え、その投影光学系は、開口絞りと、この開口絞りとその投影原版との間に配置された前レンズ群と、その開口絞りとそのワークとの間に配置された後レンズ群とを有し、その投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をディスク材に換算した量を $y$  (kg)、その後レンズ群の焦点距離を $f_2$  (mm)、その投影光学系の像側の最大開口数を $NA_w$ とし、パラメータ $x$ を次のように規定するとき、

$$x = f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot NA_w^2$$

以下の条件式を満足するものである。

$$\begin{aligned} y &\leq (9x/2) - 270, \\ y &\leq 90, \\ y &\geq (9x/2) - (855/2), \text{ 及び} \\ y &\geq 0 \end{aligned}$$

また、本発明による第8の投影露光装置は、投影原版上のパターンをワーク上に投影露光する投影露光装置において、200nm以下の波長の露光光をその投影原版へ供給する照明光学系と、その投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとでそのワーク上に形成する投影光学系とを備え、その投影光学系は、開口絞りと、この開口絞りとその投影原版との間に配置された前レンズ群と、その開口絞りとそのワークとの間に配置された後レンズ群とを有し、その投影光学系中の光透過性光学材料のうちの第1の材料の量をディスク材に換算した量を $y$  (kg)、

その後レンズ群の焦点距離を  $f_2$  (mm)、その投影光学系の像側の最大開口数を  $NA_w$  とし、パラメータ  $x$  を次のように規定するとき、

$$x = f_2 \cdot 4 \cdot |\beta| \cdot NA_w^2$$

以下の条件式を満足するものである。

$$\begin{aligned} 5 \quad & y \leq 4x - 200, \\ & y \leq (4x / 13) + (1000 / 13), \\ & y \geq 4x - 440, \text{ 及び} \\ & y \geq 0 \end{aligned}$$

次に、上述の第1又は第2の目的を達成するために、本発明の第3の  
10 投影露光方法は、投影原版上のパターンをワーク上に投影露光する投影  
露光方法において、200 nm以下の波長の露光光をその投影原版へ供  
給する照明工程と、前レンズ群、開口絞り、及び後レンズ群を備えた投  
影光学系を用いてその投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率  $\beta$  の  
もとでそのワーク上に形成する像形成工程とを含み、その像形成工程は、  
15 その投影原版からの光をその前レンズ群へ導く第1補助工程と、この前  
レンズ群を経た光をその開口絞りへ導く第2補助工程と、この開口絞り  
を経た光をその後レンズ群へ導く第3補助工程と、この後レンズ群を経  
た光を用いてそのワーク上にそのパターンの像を形成する第4補助工程  
とを含み、その投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をデ  
20 イスク材に換算した量を  $y$  (kg)、その後レンズ群の焦点距離を  $f_2$   
(mm)、その投影光学系の像側の最大開口数を  $NA_w$  とし、パラメー  
タ  $x$  を次のように規定するとき、

$$x = f_2 \cdot 4 \cdot |\beta| \cdot NA_w^2$$

以下の条件式を満足するものである。

$$\begin{aligned} 25 \quad & y \leq 4x - 200, \\ & y \leq (4x / 13) + (1000 / 13), \end{aligned}$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$y \geq 0$$

また、本発明による第4の投影露光方法は、投影原版上のパターンをワーク上に投影露光する投影露光方法において、200nm以下の波長の露光光をその投影原版へ供給する照明工程と、前レンズ群、開口絞り、及び後レンズ群を備えた投影光学系を用いてその投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとでそのワーク上に形成する像形成工程とを含み、その像形成工程は、その投影原版からの光をその前レンズ群へ導く第1補助工程と、この前レンズ群を経た光をその開口絞りへ導く第2補助工程と、この開口絞りを経た光をその後レンズ群へ導く第3補助工程と、この後レンズ群を経た光を用いてそのワーク上にそのパターンの像を形成する第4補助工程とを含み、その投影光学系中の光透過性光学材料のうちの第1の材料の量をディスク材に換算した量を $y$  (kg)、その後レンズ群の焦点距離を $f_2$  (mm)、その投影光学系の像側の最大開口数を $NA_w$ とし、パラメータ $x$ を次のように規定するとき、

$$x = f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot NA_w^2$$

以下の条件式を満足するものである。

$$y \leq 4x - 200,$$

$$y \leq (4x / 13) + (1000 / 13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$y \geq 0$$

次に、本発明による投影露光装置の製造方法は、本発明の第5、第6、又は第7の投影露光装置の製造方法であって、200nm以下の波長の露光光をその投影原版へ供給する照明光学系を準備する工程と、その投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとでそのワーク上に形成する投影光学系を準備する工程とを含み、その投影光学系を準備する

工程は、前レンズ群、開口絞り、及び後レンズ群を準備する補助工程と、その前レンズ群をその開口絞りとその投影原版が配置される位置との間に配置する補助工程と、その後レンズ群をその開口絞りとそのワークが配置される位置との間に配置する補助工程とを有するものである。

5      次に、本発明の第2のマイクロデバイスの製造方法は、所定の回路パターンを有するマイクロデバイスの製造方法において、本発明の第3又は第4の投影露光方法を用いてそのワーク上にそのパターンの像を投影露光する工程と、このように投影露光されたそのワークを現像処理する工程とを含むものである。

10      次に、上述の第1又は第2の目的を達成するために、本発明の第8の投影光学系は、波長200nm以下の光を用いて第1面のパターンの像を第2面上に形成する屈折型の投影光学系において、開口絞りと、この開口絞りとその第1面との間に配置される前レンズ群と、その開口絞りとその第2面との間に配置される後レンズ群とを備え、その投影光学系  
15      中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をディスク材に換算した量を $y$  (kg)、その後レンズ群の焦点距離を $f_2$  (mm)、その投影光学系の投影倍率を $\beta$ 、その投影光学系の像側の最大開口数を $NA_w$ とし、パラメータ $x$ を次のように規定するとき、

$$x = f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot NA_w^2$$

20      以下の条件式を満足するものである。

$$y \leq 4x - 200,$$

$$y \leq (4x / 13) + (1000 / 13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$y \geq 0$$

25      また、本発明による第9の投影光学系は、波長200nm以下の光を用いて第1面のパターンの像を第2面上に形成する屈折型の投影光学系

において、開口絞りと、この開口絞りとその第1面との間に配置される前レンズ群と、その開口絞りとその第2面との間に配置される後レンズ群とを備え、その投影光学系中の光透過性光学材料のうちの第1の材料の量をディスク材に換算した量を $y$  (kg)、その後レンズ群の焦点距離を $f_2$  (mm)、その投影光学系の投影倍率を $\beta$ 、その投影光学系の像側の最大開口数を $NA_w$ とし、パラメータ $x$ を次のように規定するとき、

$$x = f_2 \cdot 4 \cdot |\beta| \cdot NA_w^2$$

以下の条件式を満足するものである。

$$\begin{aligned} 10 \quad & y \leq 4x - 200, \\ & y \leq (4x / 13) + (1000 / 13), \\ & y \geq 4x - 440, \text{ 及び} \\ & y \geq 0 \end{aligned}$$

また、本発明による投影光学系の第5及び第6の製造方法は、それぞれ本発明の第8及び第9の投影光学系の製造方法であって、前レンズ群、開口絞り、及び後レンズ群を準備する工程と、その前レンズ群をその開口絞りとその第1面との間に配置する工程と、その後レンズ群をその開口絞りとその第2面との間に配置する工程とを有するものである。

## 20 図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の数値実施例にかかる投影光学系の光路図である。図2は、本発明の第2の数値実施例にかかる投影光学系の光路図である。図3は、第1の数値実施例の投影光学系の横収差図である。図4は、第2の数値実施例にかかる投影光学系の横収差図である。図5は、本発明の実施形態にかかる投影露光装置の概略的な構成を示す図である。図6は、本発明のマイクロデバイス製造方法の一例を示すフローチャートである。

トである。図 7 は、本発明のマイクロデバイス製造方法の別の一例を示すフローチャートである。図 8 において、(a) は本発明の第 5 の投影光学系の実施の形態におけるパラメータ  $x$  と螢石の使用量  $y$  との関係を示す図、(b) はレンズとディスク材との関係を示す図である。図 9 は、  
5 本発明の第 6 の投影光学系の実施の形態におけるパラメータ  $x$  と第 1 の材料の使用量  $y$  との関係を示す図である。図 10 は、本発明の第 3 の数値実施例にかかる投影光学系の光路図である。図 11 は、本発明の第 4 の数値実施例にかかる投影光学系の光路図である。図 12 は、本発明の第 5 の数値実施例にかかる投影光学系の光路図である。図 13 は、本発明の第 6 の数値実施例にかかる投影光学系の光路図である。図 14 は、  
10 本発明の第 7 の数値実施例にかかる投影光学系の光路図である。図 15 は、本発明の第 3 の数値実施例にかかる投影光学系の横収差図である。図 16 は、本発明の第 4 の数値実施例にかかる投影光学系の横収差図である。図 17 は、本発明の第 5 の数値実施例にかかる投影光学系の横収差図である。図 18 は、本発明の第 6 の数値実施例にかかる投影光学系の横収差図である。図 19 は、本発明の第 7 の数値実施例にかかる投影光学系の横収差図である。図 20 は、本発明の第 8 の数値実施例（第 2 の数値実施例）にかかる投影光学系の横収差図である。

## 20 発明を実施するための最良の形態

本発明の好適な実施の形態を図面によって説明する。図 1 及び図 2 は、本発明の第 1 ～第 7 の投影光学系の実施の形態の一例にかかる投影光学系（以下、「投影光学系 PL」とも言う。）の光路図である。

図 1 及び図 2 において、本発明の投影光学系 PL は、第 1 面 A 上のパターンの縮小像を第 2 面 B 上に結像させる屈折型の投影光学系である。  
25 そして、投影光学系 PL は、正屈折力の前レンズ群 GF と、正屈折力の

後レンズ群G Rとを有する。そして、前レンズ群G Fの後側焦点位置近傍に開口絞りA Sが配置される。なお、開口絞りA Sの位置は、必ずしも前レンズ群G Fの近軸上の後側焦点位置には限定されない。例えば投影光学系P Lの瞳の像面湾曲が存在する場合には、開口絞りA Sの開口  
5 径を変化させた際に生じるイメージフィールド内でのビクネッティング（口径触）差が起こることがあり、このようなビクネッティング差を防止或いは低減させるために、開口絞りA Sの位置を前レンズ群G Fの近軸上の後側焦点位置から外れた位置（近軸上の後側焦点位置よりも後レンズ群側）に設定する場合もある。上記後側焦点位置の近傍とは、この  
10 ような外れた位置も含む概念である。このような場合、後レンズ群G R（第5レンズ群）は、投影光学系P Lの近軸瞳位置から第2面までに位置する一群のレンズの集合を指す。

なお、図1及び図2の例では、開口絞りA Sは前レンズ群G Fと後レンズ群G Rとの間に配置される。

15     そして、前レンズ群G Fは、第1面側より順に、負屈折力の第1レンズ群G 1、正屈折力の第2レンズ群G 2、負屈折力の第3レンズ群G 3、及び正屈折力の第4レンズ群を有する。従って、本発明の投影光学系P Lは、負・正・負・正・正の屈折力の第1レンズ群G 1～第5レンズ群G 5を有する5群構成の投影光学系でもある。

20     さて、図1及び図2の実施例にかかる投影光学系P Lは、第1面A側及び第2面B側において実質的にテレセントリックな光学系である。ここで、第1面側及び第2面側で実質的にテレセントリックとは、投影光学系P Lに対して第2面B側から投影光学系の光軸A xと平行な光線を入射させた場合、この光線が第1面側へ射出されるときとのときの光軸とのなす角度が50分以下であることを指す。  
25

このように、各実施例の投影光学系では、投影原版としてのレチクル

(マスク) やワークとしての感光性基板 (ウエハ、プレート等) の光軸方向における位置ずれや、これら投影原版及びワークのたわみ等による形状変化が発生したとしても、それによる像の倍率誤差や歪みを小さくすることができる。

- 5       各実施例の投影光学系では、後レンズ群GR (または第5レンズ群G5) の焦点距離を  $f_2$  とし、第1面Aから第2面Bまでの距離 (物像間距離) を  $L$  とするとき、次の条件を満足することが好ましい。

$$0.065 < f_2 / L < 0.125 \quad \dots (1)$$

- 10       上記条件式 (1) は、投影光学系の色収差、特に軸上色収差を低減させるために規定された式である。ここで、条件式 (1) の下限を下回る場合、後レンズ群GR (または第5レンズ群G5) の焦点距離が短くなり過ぎる。このため、後レンズ群GR (または第5レンズ群G5) から発生する軸上色収差量は極めて少なくなるが、単色収差の発生が大きくなり過ぎ、それらの補正が困難になるため好ましくない。ここで、色収  
15       差を除く単色収差をさらに良好に補正するためには、条件式 (1) の下限を 0.075 に設定することが好ましく、その単色収差をより良く補正するためには、その条件式 (1) の下限を 0.09 に設定することがより好ましい。

- 20       また、条件式 (1) の上限を上回る場合、後レンズ群GR (または第5レンズ群G5) の焦点距離が長く成り過ぎる。この場合、単色収差の補正を良好とすることができが、後レンズ群GR (または第5レンズ群G5) から発生する軸上色収差が大きく発生してしまうため好ましくない。この場合には、光源からの露光光の波長幅を狭くするか、投影光学系PLに色収差補正用の屈折光学部材を付加する必要があり、光源へ  
25       の負担が増す、または投影光学系PLのコストアップを招く恐れがある。ここで、投影光学系の軸上色収差の発生をさらに抑えるためには、条件

式（１）の上限を 0.12 に設定することが好ましい。

5      なお、露光光として 180 nm 以下の露光光を用いる場合には、この波長域の露光光を透過する光透過性屈折部材の種類が限られるため、条件式（１）の上限を上回る場合には投影光学系 PL そのものが成立しない恐れがある。

10      なお、上記構成において、投影光学系 PL は、少なくとも 1 面以上の非球面 ASP1 ～ ASP6 を有することが好ましい。また、条件式（１）が成立する場合に、更に、投影光学系 PL は、少なくとも 6 枚以上の屈折力を持つレンズを備え、その屈折力を持つレンズを第 1 面 A 側から順に 6 枚（図 1 及び図 2 ではレンズ L11, L12, L21, L22, L23, L24）選択したときに、その 6 枚のレンズの少なくとも一面が負の屈折力を持つ非球面形状であることが好ましい。

15      この作用につき説明すると、一般に非球面の面計測はいわゆるヌルレンズ等の特定の波面を作り出す素子（以下、「ヌル素子」と言う）を用いるヌルテスト（Null Test）によって行われる。検査対象の非球面に合わせた波面をヌル素子で作る場合、その非球面の屈折力が負である、即ち凹面である方が、そのヌル素子の大型化を防ぐことができると共に、作り出す非球面形状の波面の自由度も大きくできる。

20      また、仮に条件式（１）が必ずしも成立していない場合において、投影光学系 PL は、少なくとも 3 枚以上の屈折力を持つレンズを備え、その屈折力を持つレンズを第 1 面 A 側から順に 3 枚（図 1 及び図 2 ではレンズ L11, L12, L21）選択したときに、その 3 枚のレンズの少なくとも一面が負の屈折力を持つ非球面形状であることが好ましい。この場合にも、ヌルテストを行うために、検査対象の非球面に合わせた波面をヌル素子で作る場合、その非球面の屈折力が負である、即ち凹面である方が、そのヌル素子の大型化を防ぐことができると共に、作り出す

25

非球面形状の波面の自由度も大きくできる。

さて、前述したように、各実施例の投影光学系P Lでは、負・正・負・正・正の屈折力配置を有しており、従来の正・負・正・負・正・正の屈折力配置を有する6群構成の投影光学系に比べて、レンズ枚数を大幅に削減できる利点がある。

そして、各実施例の投影光学系P Lにおいては、負の第1レンズ群G 1及び正の第2レンズ群G 2の合成光学系を考え、この合成光学系の横倍率（第1及び第2レンズ群G 1，G 2の合成横倍率）を $\beta 1$ とし、第1面Aから第2レンズ群G 2の最も第2面B側のレンズ面までの距離をL 1、第1面Aから第2面Bまでの距離をLとすると、以下の条件式（2）及び（3）を満足することが好ましい。

$$-1.3 < 1/\beta 1 < 0 \quad \dots (2)$$

$$0.08 < L 1/L < 0.17 \quad \dots (3)$$

上記条件式（2）は、投影光学系P Lの画面全域（イメージフィールド全域）において良好なる収差補正を達成するために規定した条件式である。条件式（2）より明らかな通り、各実施形態の投影光学系P Lにおける第1及び第2レンズ群G 1，G 2の合成光学系は、第1面Aからの発散光束をやや収収光束に変換している。

条件式（2）の下限を下回るときには、この合成光学系G 1，G 2での光束の収収作用が強くなり過ぎて、収差、特に画角に関する収差の発生が大きくなり、投影光学系P Lのイメージフィールドを十分に確保できなくなるため好ましくない。なお、画角に関する収差の発生をさらに抑えるためには、条件式（2）の下限を $-1.10$ に設定することが好ましい。

一方、条件式（2）の上限を上回るときには、第1レンズ群G 1の負屈折力が弱くなり過ぎるため、投影光学系P Lのペッツバル和の悪化

を招き、投影光学系P Lのイメージフィールドを十分に確保できなくなるため好ましくない。なお、投影光学系P Lのペッツバル和をさらに良好に補正するためには、条件式(2)の上限を $-0.42$ に設定することが好ましい。

- 5       条件式(3)は、上記条件式(2)の前提となる式であって、第1及び第2レンズ群の合成光学系G 1, G 2の位置を規定するものである。ここで、条件式(3)の下限値を $0.1$ とすることが好ましく、条件式(3)の上限値を $0.15$ とすることが好ましい。

10       さて、第1及び第2レンズ群の合成光学系G 1, G 2は、少なくとも2つの非球面形状のレンズ面ASP 1~ASP 3を有することが好ましい。この合成光学系G 1, G 2中の非球面ASP 1~ASP 3の作用により、像面湾曲、歪曲収差、及び瞳の球面収差等を良好に補正することが可能である。

15       また、第1及び第2レンズ群の合成光学系G 1, G 2は、10枚以下のレンズで構成されることが好ましい。この構成により、投影光学系P Lの透過率の確保、フレア発生の低減、及び製造時のコストダウンを達成することが可能となる。

20       さて、各実施例の投影光学系P Lにおいては、投影光学系P Lの光路中に配置される光透過性屈折部材(レンズ、平行平板)の光軸に沿った厚さの総和をCとし、第1面Aから第2面Bまでの距離をLとすると、次の条件を満足することが好ましい。

$$0.46 < C/L < 0.64 \quad \dots (4)$$

      上記条件式(4)は、投影光学系P Lとしての透過率確保と、投影光学系P Lの結像性能の安定化とを両立させるために規定した式である。

25       上記条件式(4)の下限を下回る場合、投影光学系P Lを構成する光透過性屈折部材間の気体間隔が長くなりすぎ、この気体の特性が変動す

ること（例えば温度変動や気圧変動などに起因する屈折率の変動の発生、ゆらきの発生等）による結像性能の変動を招きやすくなるため好ましくない。なお、環境変動に対する結像性能の安定性をさらに向上させるためには、条件式（４）の下限値を 0.52 に設定することが好ましい。

- 5       また、上記条件式（４）の上限を上回る場合、投影光学系 PL の環境変動への耐性は向上するが、十分なる透過率を得ることが困難になるため好ましくない。なお、さらなる透過率の確保を達成するためには、条件式（４）の上限値を 0.625 に設定することが好ましい。

- 10       上記条件式（４）を満足する構成においては、投影光学系 PL は少なくとも 1 つの非球面 ASP1～ASP6 を有することが好ましい。これにより、初期の結像性能を十分に高めつつ、環境変動に対する安定性と十分なる透過率とを確保することが可能である。

- 15       さて、各実施例の投影光学系 PL においては、少なくとも 3 面以上の非球面形状のレンズ面 ASP1～ASP6 を有することが好ましい。この構成により、比較的レンズ枚数（すなわち硝材量）を抑えた構成のもとで、画面全域（イメージフィールド全域）での良好なる収差補正を実現することができる。

- 20       但し、非球面形状のレンズ面 ASP1～ASP6 の数は増やし過ぎても好ましくなく、投影光学系 PL 中の光透過性屈折部材のうち屈折力を有する部材（レンズ素子）の数の総和を E とし、非球面形状のレンズ面 ASP1～ASP6 が設けられた部材の数の総和を E<sub>a</sub> とするとき、次の条件を満足することが好ましい。

$$0.15 < E_a / E < 0.7 \quad \cdots (5)$$

- 25       上記条件式（５）は、投影光学系 PL の製造を考慮した上での非球面形状のレンズ面 ASP1～ASP6 の数の最適な範囲を規定した式である。球面レンズに比べて、非球面レンズの製造難易度は高く、また非球

面レンズの表面と裏面との偏心誤差や面精度誤差は大きくなりがちである。従って、投影光学系P Lの製造にあたっては、非球面レンズの誤差を球面レンズの位置・姿勢の調整や球面レンズの面形状を調整することにより、投影光学系P Lの結像性能を最適化することが好ましい。

- 5       上記条件式（5）の上限を上回る場合には、非球面形状のレンズ面A S P 1～A S P 6の誤差による収差発生が大きくなり過ぎるばかりではなく、球面レンズの数も少なくなるため、非球面A S P 1～A S P 6の誤差による収差発生を球面レンズの位置・姿勢調整、形状調整により補正することが困難になる。ここで、投影光学系P Lの製造をさらに容易  
10       にするためには、条件式（5）の上限を0.42に設定することが好ましい。

- 一方、上記条件式（5）の下限を下回る場合には、非球面形状のレンズ面の数が少なくなり、投影光学系P Lの製造は容易となるが、画面全域（イメージフィールド全域）での良好な収差補正が困難になり、かつ  
15       投影光学系P Lを製造するために必要な硝材量の増加を招くため好ましくない。なお、さらなる収差補正の達成及び硝材量の削減を図るためには、条件式（5）の下限を0.2に設定することが好ましい。

- さて、各実施例の投影光学系P Lにおいては、投影光学系P Lを構成する光透過性屈折部材のうちの屈折力を有する部材（レンズ素子）の総  
20       和は、16以上であることが好ましい。これにより、投影光学系P Lの像側（第2面B側）開口数の増大を図ることができ、さらに微細なパターンを投影露光することが可能となる。なお、上記条件式（5）を満足する場合には、レンズ素子の総和が16以上であると、非球面レンズの誤差による収差発生を補正するための球面レンズの数を十分に確保する  
25       ことができる利点がある。

また、各実施例の投影光学系P Lにおいては、投影光学系P Lを構成

する光透過性屈折部材のうちの屈折力を有する部材（レンズ素子）の総和は、26以下であることが好ましい。これにより、投影光学系PLを構成する光透過性屈折部材の厚みが削減できることによる透過率の向上のみならず、光学界面（レンズ面）の数が削減され、この光学界面での  
5 光量損失を低減させて、全体としての透過率向上を図ることができる。

さて、図1の実施例では、投影光学系PL中の光透過性屈折部材は、単一種類の材料から形成されている。このため、投影光学系PLの製造コストの削減を図ることができる。特に、180nm以下の露光光に対して投影光学系PLを最適化する場合には、この波長域の露光光に対し  
10 て良好なる透過率を有する硝材が限定されるため、効果的である。

また、図2の実施例では、投影光学系PL中の光透過性屈折部材は、第1の材料から形成された第1の光透過性屈折部材と、第2の材料から形成された第2の光透過性屈折部材とを有している。ここで、光透過性屈折部材のうちの屈折力を有する部材の数に対するその第2の光透過性  
15 屈折部材の数は、32%以下であることが好ましい。

特に、200nm以下の真空紫外域の露光光を用いる場合、この波長域の露光光に対して良好なる透過率を有する硝材の種類が幾つかに限定される。この幾つかの硝材の中には、製造コストが高くかつレンズにするための加工コストが硝材も含まれている。上記コストの高い硝材に関しては、レンズに加工する際の精度を高めることが困難であり、投影光学系PLの精度向上、すなわち結像性能の向上を図る際の難点となる。  
20 この観点に立つと、複数種類の硝材を用いて投影光学系PLを製造する場合には、上記のパーセンテージを32%以下に抑えることで、製造コストの低減と結像性能の向上とを両立させることができる。なお、上記  
25 のパーセンテージは、16%以下であることが好ましく、11%以下であるとさらに好ましい。

次に、数値実施例について説明する。

図1は、第1実施例による投影光学系PLの光路図である。

第1実施例の投影光学系PLは、狭帯化されたF<sub>2</sub>レーザが供給する波長157.62nmを基準波長としたものであり、基準波長に対して  
5 波長幅±0.2pmの範囲で色収差補正を行っているものである。なお、第1実施例において、投影光学系PL中の全ての光透過性屈折部材（レンズL11～L57）は、螢石（フッ化カルシウム、CaF<sub>2</sub>）で形成されている。

図1に示す通り、第1実施例の投影光学系PLは、第1面A側から順  
10 に、正屈折力の前レンズ群GF、開口絞りAS、及び正屈折力の後レンズ群GRを有する。また、別の群分けによると、第1実施例の投影光学系PLは、第1面A側から順に、負の第1レンズ群G1、正の第2レンズ群G2、負の第3レンズ群G3、正の第4レンズ群G4、開口絞りAS、及び正の第5レンズ群G5を有する。

15 第1レンズ群G1は、第1面A側から順に、両凹形状の負レンズL11と、凹面を第1面A側に向けたメニスカス形状の負レンズL12とを有し、これらの負レンズL11、L12によって、両凸形状の気体レンズを形成している。ここで、負レンズL11の第1面A側のレンズ面と負レンズL12の第2面B側のレンズ面とは非球面形状に形成されてい  
20 る。

第2レンズ群G2は、両凸形状の4つの正レンズL21～L24を有する。ここで、最も第2面B側の正レンズL24の第1面A側のレンズ面は非球面形状に形成されている。

25 第3レンズ群G3は、両凹形状の3つの負レンズL31～L33を有し、これら負レンズL31～L33によって、両凸形状の2つの気体レンズを形成している。ここで、最も第2面B側の負レンズL33の第2

面B側のレンズ面は非球面形状に形成されている。

第4レンズ群G4は、第1面A側より順に、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の2つの正レンズL41、L42と、両凸形状の正レンズL43とを有する。

5 第5レンズ群G5は、第1面A側から順に、両凹形状の負レンズL51と、両凸形状の2つの正レンズL52、L53と、第1面A側に凸面を向けたメニスカス形状の3つの正レンズL54～L56と、平凸形状の正レンズL57とを有する。ここで、正レンズL56の第2面B側のレンズ面は非球面形状に形成されている。

10 図2は、第2実施例による投影光学系PLの光路図である。

第2実施例の投影光学系PLは、狭帯化されたArFレーザが供給する波長193.306nmを基準波長としたものであり、基準波長に対して波長幅±0.4pmの範囲で色収差補正を行っているものである。なお、第2実施例において、投影光学系PL中の光透過性屈折部材は、  
15 石英ガラス（合成石英）と螢石とから形成される。

図2に示す通り、第2実施例の投影光学系PLは、第1面A側から順に、正屈折力の前レンズ群GF、開口絞りAS、及び正屈折力の後レンズ群GRを有する。また、別の群分けによると、第1実施例の投影光学系PLは、第1面A側から順に、負の第1レンズ群G1、正の第2レンズ群G2、負の第3レンズ群G3、正の第4レンズ群G4、開口絞りAS、及び正の第5レンズ群G5を有する。  
20

第1レンズ群G1は、第1面A側から順に、両凹形状の負レンズL11と、凹面を第1面A側に向けたメニスカス形状の負レンズL12とを有し、これらの負レンズL11、L12によって、両凸形状の気体レンズを形成している。ここで、負レンズL11の第2面B側のレンズ面と  
25 負レンズL12の第2面B側のレンズ面とは、非球面形状に形成されて

いる。なお、これら2つの負レンズL 1 1, L 1 2は共に石英ガラスから形成されている。

第2レンズ群G 2は、第1面A側から順に、両凸形状の3つの正レンズL 2 1～L 2 3と、凸面を第1面A側に向けたメニスカス形状の正レンズL 2 4とを有する。ここで、最も第1面A側の正レンズL 2 1の第2面側のレンズ面は非球面形状に形成されている。第2レンズ群G 2においては、3つの両凸正レンズL 2 1～L 2 3が石英ガラスから形成されており、メニスカス形状の正レンズL 2 4が螢石から形成されている。

第3レンズ群G 3は、両凹形状の3つの負レンズL 3 1～L 3 3を有し、これら負レンズL 3 1～L 3 3によって、両凸形状の2つの気体レンズを形成している。ここで、最も第2面B側の負レンズL 3 3の第1面A側のレンズ面は非球面形状に形成されている。第3レンズ群G 3中の全ての負レンズL 3 1～L 3 3は石英ガラスで形成されている。

第4レンズ群G 4は、第1面A側より順に、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズL 4 1と、第2面B側に凸面を向けた平凸形状の正レンズL 4 2と、第1面A側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズL 4 3とを有する。ここで、3つの正レンズL 4 1～L 4 3は共に石英ガラスから形成されている。

第5レンズ群G 5は、第1面A側から順に、第1面A側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズL 5 1と、両凸形状の正レンズL 5 2と、第1面A側に凸面を向けた4つのメニスカス形状の正レンズL 5 3～L 5 6と、第1面A側に凹面を向けた平凹形状の負レンズL 5 7とを有する。ここで、メニスカス形状の負レンズL 5 1の第2面B側のレンズ面とメニスカス形状の正レンズL 5 6の第2面側のレンズ面とは非球面形状に形成されている。なお、第5レンズ群G 5においては、両凸形状の正レンズL 5 2が螢石で形成されており、残りのレンズL 5 1, L 5 3

～L 5 7 が石英ガラスで形成されている。

第2実施例の投影光学系P Lのように、石英ガラス（合成石英）と螢石とをレンズ材料（硝材）として用いる場合には、非球面形状のレンズ面は石英ガラスからなるレンズに形成することが好ましい。

- 5      以下の表1及び表2に第1及び第2実施例の投影光学系P Lの諸元を示す。表1及び表2において、左端の列には第1面Aからの各レンズ面の番号、第2列には各レンズ面の曲率半径、第3列には各レンズ面から次のレンズ面までの面間隔、第4列にはレンズ材料、第5列には非球面の符号、第6列には各レンズの符号を示す。また、非球面レンズ面について  
10      の第2列の曲率半径は頂点曲率半径を示す。また、表2のφ<sub>eff</sub>は各レンズ面の有効な直径を示している。

非球面形状は以下の式（a）で示される。

$$z(Y) = \frac{Y^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)Y^2/r^2}} + AY^4 + BY^6 + CY^8 + DY^{10} + EY^{12} + FY^{14} \dots (a)$$

- 15      Y：光軸からの高さ

z：非球面頂点における接平面から非球面までの光軸方向の距離

r：頂点曲率半径

κ：円錐係数

A, B, C, D, E, F：非球面係数

- 20      表1及び表2の最後に「非球面データ」として各非球面についての円錐係数κ、非球面係数A, B, C, D, E, Fを示した。

第1実施例の投影光学系ではレンズ材料（硝材）として螢石を用い、第2実施例では石英ガラス（合成石英）及び螢石を用いている。

- 第1実施例の基準波長（157.62 nm）での螢石の屈折率は1.5593067であり、波長+1 pm当たりの屈折率の変化量（分散）  
25      は $-2.6 \times 10^{-6}$ である。

また、第2実施例の基準波長（193.306 nm）での石英ガラス（合成石英）の屈折率は1.5603261であり、波長+1 pm当たりの屈折率の変化量（分散）は $-1.59 \times 10^{-6}$ である。そして、上記基準波長基準波長（193.306 nm）での螢石の屈折率は1.5014548であり、波長+1 pm当たりの屈折率の変化量（分散）は $-0.98 \times 10^{-6}$ である。

なお、以下の表1及び表2において、SiO<sub>2</sub>は石英ガラスを、CaF<sub>2</sub>は螢石をそれぞれ表し、d<sub>0</sub>は第1面Aから最も第1面A側の面までの距離、WDは最も第2面B側の面から第2面Bまでの距離（作動距離）、 $\beta$ は投影倍率、NAは第2面B側の開口数、 $\phi$ は第2面B上でのイメージサークルの直径を示す。

《表1》

第1実施例（図1）

$$d_0 = 40.6446 \text{ (mm)}$$

$$WD = 10.8134 \text{ (mm)}$$

$$|\beta| = 1/4$$

$$NA = 0.75$$

$$\phi = 23 \text{ (mm)}$$

	曲率半径 (mm)	面間隔 (mm)	ガラス	非球面	レンズ
1:	-446.6132	12.0000	CaF <sub>2</sub>	ASP1	L11
2:	554.7232	22.5800			
3:	-92.3259	46.8618	CaF <sub>2</sub>		L12
4:	-6695.3973	1.1105		ASP2	
5:	3832.9930	50.0000	CaF <sub>2</sub>		L21
6:	-179.0867	2.1599			

30

	7:	552.3099	44.4615	CaF <sub>2</sub>		L22
	8:	-337.8904	72.3130			
	9:	416.2197	34.5857	CaF <sub>2</sub>		L23
	10:	-885.0528	1.0000			
5	11:	179.8393	45.7388	CaF <sub>2</sub>	ASP3	L24
	12:	-3356.1983	59.3145			
	13:	-4096.8404	12.0000	CaF <sub>2</sub>		L31
	14:	160.6568	14.5833			
	15:	-317.8664	12.0000	CaF <sub>2</sub>		L32
10	16:	146.7839	35.8889			
	17:	-96.9946	12.8163	CaF <sub>2</sub>		L33
	18:	190.5253	13.5021		ASP4	
	19:	-335.6495	50.0000	CaF <sub>2</sub>		L41
	20:	-220.3094	1.0000			
15	21:	-2196.6594	26.1615	CaF <sub>2</sub>		L42
	22:	-200.6039	62.7317			
	23:	245.0000	38.2977	CaF <sub>2</sub>		L43
	24:	-522.0290	1.0000			
	25:	$\infty$	17.3237			AS
20	26:	-268.6720	20.2571	CaF <sub>2</sub>		L51
	27:	312.7719	6.2767		ASP5	
	28:	421.1502	30.5995	CaF <sub>2</sub>		L52
	29:	-570.5232	1.0000			
	30:	392.6194	38.7693	CaF <sub>2</sub>		L53
25	31:	-392.6194	18.3534			
	32:	208.4943	34.4190	CaF <sub>2</sub>		L54

31

	33:	993.1946	13.7466		
	34:	100.1780	50.0000	CaF <sub>2</sub>	L55
	35:	182.3029	1.4636		
	36:	100.1446	20.5148	CaF <sub>2</sub>	L56
5	37:	166.7499	6.9737		ASP6
	38:	23871.5667	36.7374	CaF <sub>2</sub>	L57
	39:	$\infty$	(WD)		

[非球面データ]

	ASP1	ASP4
10	$\kappa$ : 0.000000	$\kappa$ : 0.000000
	A : $0.193140 \times 10^{-6}$	A : $0.103662 \times 10^{-6}$
	B : $-0.824604 \times 10^{-11}$	B : $-0.141741 \times 10^{-10}$
	C : $0.290280 \times 10^{-15}$	C : $0.495429 \times 10^{-15}$
	D : $-0.163368 \times 10^{-19}$	D : $0.567158 \times 10^{-19}$
15	E : $-0.748150 \times 10^{-23}$	E : $-0.655441 \times 10^{-23}$
	F : $0.191873 \times 10^{-26}$	F : $0.227245 \times 10^{-27}$
	ASP2	ASP5
	$\kappa$ : 0.000000	$\kappa$ : 0.000000
	A : $0.489084 \times 10^{-7}$	A : $0.166512 \times 10^{-7}$
20	B : $-0.220485 \times 10^{-11}$	B : $0.572516 \times 10^{-13}$
	C : $0.962305 \times 10^{-16}$	C : $-0.931419 \times 10^{-17}$
	D : $-0.287934 \times 10^{-20}$	D : $-0.141990 \times 10^{-21}$
	E : $0.318426 \times 10^{-25}$	E : $0.347373 \times 10^{-26}$
	F : $0.736564 \times 10^{-30}$	F : $-0.357575 \times 10^{-31}$
	ASP3	ASP6
25	$\kappa$ : 0.000000	$\kappa$ : 0.000000

	A : $-0.350067 \times 10^{-8}$	A : $-0.827300 \times 10^{-8}$
	B : $-0.254455 \times 10^{-12}$	B : $-0.150446 \times 10^{-10}$
	C : $-0.464126 \times 10^{-17}$	C : $-0.119559 \times 10^{-14}$
	D : $-0.307104 \times 10^{-21}$	D : $-0.367677 \times 10^{-19}$
5	E : $-0.247414 \times 10^{-27}$	E : $0.140360 \times 10^{-22}$
	F : $-0.475856 \times 10^{-30}$	F : $0.443761 \times 10^{-26}$

《表2》

第2実施例(図2)

d0 = 50.2691 (mm)

10 WD = 12.7196 (mm)

 $|\beta| = 1/4$ 

NA = 0.75

 $\phi = 26.6$  (mm)

	曲率半径 (mm)	面間隔 (mm)	ガラス	非球面	レンズ	$\phi_{\text{out}}$ (mm)
15	1:	-310.0151	14.1998	SiO <sub>2</sub>	L11	61.615337
	2:	303.6996	31.5711	ASP1		66.565666
	3:	-100.7999	43.9802	SiO <sub>2</sub>	L12	66.983185
	4:	-223.9596	9.5226	ASP2		93.367592
20	5:	723.6127	40.8525	SiO <sub>2</sub>	L21	116.401726
	6:	-326.4452	1.4173	ASP3		120.452324
	7:	1771.0971	46.9449	SiO <sub>2</sub>	L22	127.712166
	8:	-289.4624	104.4363			129.745331
	9:	315.8237	54.1717	SiO <sub>2</sub>	L23	129.661499
25	10:	-982.0234	5.9069			126.792755
	11:	177.1899	46.2445	CaF <sub>2</sub>	L24	109.210121

33

	12:	2145.8394	52.0242			103.951401
	13:	-383.7553	14.4116	SiO <sub>2</sub>	L31	70.429657
	14:	103.2214	24.7417			57.789726
	15:	-406.0024	33.8665	SiO <sub>2</sub>	L32	57.333916
5	16:	264.3030	20.2564			55.370338
	17:	-130.6551	36.7937	SiO <sub>2</sub>	ASP4 L33	55.433979
	18:	243.2466	22.7571			68.153618
	19:	-214.9802	30.3809	SiO <sub>2</sub>	L41	69.129860
	20:	-138.6461	1.6720			78.097023
10	21:	∞	21.7611	SiO <sub>2</sub>	L42	88.842262
	22:	-503.4971	3.2133			92.214386
	23:	300.0000	39.0994	SiO <sub>2</sub>	L43	100.787971
	24:	1276.4893	64.3575			101.914116
	25:	∞	17.6348		AS	107.438789
15	26:	634.9754	23.4375	SiO <sub>2</sub>	L51	112.544273
	27:	428.5036	1.0000		ASP5	114.046783
	28:	374.4189	48.2150	CaF <sub>2</sub>	L52	114.698341
	29:	-377.2840	5.8246			115.519508
	30:	312.6914	30.9155	SiO <sub>2</sub>	L53	115.577393
20	31:	1319.1903	24.0395			113.770447
	32:	272.3437	35.8174	SiO <sub>2</sub>	L54	107.279770
	33:	2421.5392	21.5533			103.251373
	34:	111.2389	35.3044	SiO <sub>2</sub>	L55	82.084534
	35:	217.9576	8.7809			74.716202
25	36:	117.8762	24.0827	SiO <sub>2</sub>	L56	63.873623
	37:	206.3743	8.3992		ASP6	55.041325

38: -4906.7588 47.4235 SiO<sub>2</sub> L57 53.879700  
 39: ∞ (WD) 27.722666

[非球面データ]

	ASP1	ASP4
5	κ : 0.000000	κ : 0.000000
	A : $-0.140916 \times 10^{-6}$	A : $-0.879103 \times 10^{-7}$
	B : $0.565597 \times 10^{-11}$	B : $0.950068 \times 10^{-12}$
	C : $-0.301261 \times 10^{-15}$	C : $0.184679 \times 10^{-15}$
	D : $-0.207339 \times 10^{-19}$	D : $0.197968 \times 10^{-19}$
10	E : $0.554668 \times 10^{-23}$	E : $0.107088 \times 10^{-23}$
	F : $-0.585529 \times 10^{-27}$	F : $-0.173148 \times 10^{-27}$
	ASP2	ASP5
	κ : 0.000000	κ : 0.000000
	A : $0.319500 \times 10^{-8}$	A : $0.401293 \times 10^{-8}$
15	B : $-0.616429 \times 10^{-12}$	B : $0.300603 \times 10^{-12}$
	C : $-0.170315 \times 10^{-16}$	C : $-0.310130 \times 10^{-17}$
	D : $0.486911 \times 10^{-20}$	D : $0.269304 \times 10^{-22}$
	E : $-0.144218 \times 10^{-24}$	E : $-0.108809 \times 10^{-27}$
	F : $0.926412 \times 10^{-29}$	F : $0.341338 \times 10^{-32}$
	ASP3	ASP6
20	κ : 0.000000	κ : 0.000000
	A : $0.263695 \times 10^{-7}$	A : $-0.141220 \times 10^{-7}$
	B : $0.676253 \times 10^{-12}$	B : $-0.760266 \times 10^{-11}$
	C : $-0.828213 \times 10^{-17}$	C : $-0.429061 \times 10^{-15}$
25	D : $-0.121949 \times 10^{-20}$	D : $0.179175 \times 10^{-20}$
	E : $0.572412 \times 10^{-25}$	E : $0.705845 \times 10^{-25}$

$$F : -0.806708 \times 10^{-30} \quad F : -0.321978 \times 10^{-27}$$

さて、以下の表 3 に各実施例の条件対応数値を掲げる。

《表 3》

	$f_2/L$	$1/\beta_1$	$L_1/L$	$C/L$	$E_a/E$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
第 1 実施例	0.108	-0.74	0.120	0.604	0.316
第 2 実施例	0.111	-0.88	0.121	0.576	0.316

上記表 3 に示す通り、第 1 及び第 2 実施例とも上記条件式を満足している。

次に、図 3 及び図 4 にそれぞれ第 1 及び第 2 実施例にかかる投影光学系 PL の第 2 面 B 上での横収差図を示す。

ここで、図 3 (A) は像高  $Y = 11.5$  におけるメリジオナル方向の横収差図、図 3 (B) は像高  $Y = 5.75$  におけるメリジオナル方向の横収差図、図 3 (C) は像高  $Y = 0$  (光軸上) におけるメリジオナル方向の横収差図、図 3 (D) は像高  $Y = 11.5$  におけるサジタル方向の横収差図、図 3 (E) は像高  $Y = 5.75$  におけるサジタル方向の横収差図、図 3 (F) は像高  $Y = 0$  (光軸上) におけるサジタル方向の横収差図である。また、図 3 (A) ~ 図 3 (F) の各横収差図において、実線は波長  $\lambda = 157.62 \text{ nm}$  (基準波長) による収差曲線、破線は波長  $\lambda = 157.62 \text{ nm} + 0.2 \text{ pm}$  (基準波長 +  $0.2 \text{ pm}$ ) による収差曲線、一点鎖線は波長  $\lambda = 157.62 \text{ nm} - 0.2 \text{ pm}$  (基準波長 -  $0.2 \text{ pm}$ ) による収差曲線を表している。

また、図 4 (A) は像高  $Y = 13.3$  におけるメリジオナル方向の横収差図、図 4 (B) は像高  $Y = 6.65$  におけるメリジオナル方向の横収差図、図 4 (C) は像高  $Y = 0$  (光軸上) におけるメリジオナル方向の横収差図、図 4 (D) は像高  $Y = 13.3$  におけるサジタル方向の横

収差図、図4(E)は像高 $Y=6.65$ におけるサジタル方向の横収差図、図4(F)は像高 $Y=0$ (光軸上)におけるサジタル方向の横収差図である。また、図4(A)～図4(F)の各横収差図において、実線は波長 $\lambda=193.306\text{ nm}$ (基準波長)による収差曲線、破線は波  
5 長 $\lambda=193.306+0.4\text{ pm}$ (基準波長 $+0.4\text{ pm}$ )による収差曲線、一点鎖線は波長 $\lambda=193.306\text{ nm}-0.4\text{ pm}$ (基準波長 $-0.4\text{ pm}$ )による収差曲線を表している。

図3から明らかな通り、第1実施例の投影光学系PLでは、 $180\text{ nm}$ 以下の波長域において、単一種類の硝材しか用いていないのにも関わ  
10 らず、 $\pm 0.2\text{ pm}$ という波長域にわたり良好に色収差補正が達成されている。

また、図4から明らかな通り、第2実施例の投影光学系PLでは、 $200\text{ nm}$ 以下の真空紫外の波長域において、色収差補正用のレンズ素子を少数(全レンズ素子の $10\%$ 程度)しか用いていないにも関わらず、  
15  $\pm 0.4\text{ pm}$ という波長域にわたり、良好に色収差補正が達成されている。

さて、第1実施例の投影光学系PLは、直径 $23\text{ mm}$ の円形イメージフィールドを有し、そのイメージフィールド内で、走査方向の幅 $6.6\text{ mm}$ 、走査直交方向の幅 $22\text{ mm}$ の長方形の露光領域を確保することができる。また、第2実施例の投影光学系PLは、直径 $26.6\text{ mm}$ の  
20 円形イメージフィールドを有し、そのイメージフィールド内で、走査方向の幅 $8.8\text{ mm}$ 、走査直交方向の幅 $25\text{ mm}$ の長方形の露光領域を確保することができる。

次に、本発明の第8及び第9の投影光学系の好適な実施の形態の一例  
25 につき説明する。図10～図14は、本発明の第8及び第9の投影光学系の実施の形態にかかる投影光学系の光路図である。但し、後述のよう

に上述の図1及び図2の投影光学系も、本発明の第8及び第9の投影光学系の実施の形態に含まれる場合がある。

図10～図14において、本例の投影光学系（以下、「投影光学系P  
L」とも言う。）は、第1面A上のパターンの縮小像を第2面B上に結像  
5 させる屈折型の投影光学系である。これらの投影光学系を例えば半導体  
デバイス製造用の投影露光装置に適用した場合、第1面A上に投影原版  
（マスク）としてのレチクルRのパターン面が配置され、第2面B上に  
ワークとしての被露光基板であるウエハWのフォトレジストの塗布面  
（露光面）が配置される。そして、その投影光学系は、正屈折力の前レ  
10 ンズ群GFと、正屈折力の後レンズ群GRとを有し、前レンズ群GFの  
後側焦点位置近傍に開口絞りASが配置される。なお、開口絞りASの  
位置は、必ずしも前レンズ群GFの近軸上の後側焦点位置には限定され  
ない。これは図1及び図2の実施の形態の場合と同様である。この場合、  
後レンズ群GRは、投影光学系の近軸瞳位置から第2面Bまでに位置す  
15 る一群のレンズの集合を指す。

また、図10～図14の例では、開口絞りASは前レンズ群GFと後  
レンズ群GRとの間に配置される。

そして、図10～図14の例の投影光学系は、図1、図2の例と同様  
に第1面A側及び第2面B側において実質的にテレセントリックな光学  
20 系である。この結果、本例の投影光学系においても、投影原版としての  
レチクル（マスク）やワークとしての感光性基板（ウエハ、プレート等）  
の光軸方向における位置ずれや、これら投影原版及びワークのたわみ等  
による形状変化が発生したとしても、それによる像の倍率誤差や歪みを  
小さくすることができる。

25 本発明の第8の投影光学系（第5の投影露光装置又は第3の投影露光  
方法）の実施の形態にかかる投影光学系では、波長が200nm以下の

露光光が使用されると共に、その投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石（ $\text{CaF}_2$ ）の量（使用量）をディスク材に換算した量を  $y$ （ $\text{kg}$ ）、その後レンズ群  $\text{GR}$  の焦点距離を  $f_2$ （ $\text{mm}$ ）、その投影光学系の像側の最大開口数を  $\text{NA}_w$  とし、パラメータ  $x$ （ $\text{mm}$ ）を次のように規定する。

$$x = f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot \text{NA}_w^2 \quad \dots (10)$$

この場合、図 8（b）に示すように、その投影光学系中で使用されるレンズ  $\text{L}$  のディスク材  $\text{D}$  とは、そのレンズ  $\text{L}$  を製造する際に使用される円柱状の部材である。レンズ  $\text{L}$  の有効半径（入射側と射出側とで大きい方の有効半径）を  $r_{eff}$ 、レンズ  $\text{L}$  を安定に保持するための保持用の幅を  $d_S$  とすると、ディスク材  $\text{D}$  の半径  $r_0$  は  $(r_{eff} + d_S)$  となり、ディスク材  $\text{D}$  の長さはレンズ  $\text{L}$  に外接する円柱の長さとなる。従って、その螢石の使用量をディスク材に換算した量  $y$  とは、その投影光学系を製造する際に使用される螢石の全体の量を表すことになる。

本例ではその保持用の幅  $d_S$  を  $8 \text{ mm}$  としている。このとき、本例では以下の各条件式を満足するようにしている。

$$y \leq 4x - 200 \quad \dots (11)$$

$$y \leq (4x / 13) + (1000 / 13) \quad \dots (12)$$

$$y \geq 4x - 440 \quad \dots (13)$$

$$y \geq 0 \quad \dots (14)$$

図 8（a）は、本発明の実施の形態におけるパラメータ  $x$  と螢石の量  $y$ （ディスク材に換算した使用量）との関係を示し、この図 8（a）において、直線  $\text{B}_1$ 、 $\text{B}_2$ 、 $\text{B}_3$ 、及び  $\text{B}_4$  はそれぞれ直線（ $y = 4x - 200$ ）、直線（ $y = (4x / 13) + (1000 / 13)$ ）、直線（ $y = 4x - 440$ ）、及び直線（ $y = 0$ ）を示している。従って、（11）式～（14）式の各条件を満たす（ $x$ 、 $y$ ）の範囲は、図 8

(a) の直線 B 1, B 2, B 3, B 4 で囲まれた四角形の領域 B 5 である。

通常、光学系の色収差の補正は、異なる分散の光学材料を適宜組み合わせること（通常の補正手法）によって行われる。しかしながら、本例  
5 のように 200 nm 以下の波長域の光（真空紫外光）を露光光として用いる場合、この露光光を透過するレンズ（収差補正用の平行平板等を含む）の光学材料（光透過性光学材料）の種類が限られて来る。具体的に 170 ~ 200 nm 程度の波長域で互いに異なる分散の複数の光学材料の組み合わせとして実用的なものは、石英ガラス（合成石英）及び螢石  
10 であるが、螢石は生産量が少なく高価であるため、投影光学系、ひいてはそれを備えた投影露光装置の製造コストを低減するためには、できるだけ螢石の使用量  $y$  を少なくすることが望ましい。

そこで、本発明者は、光学系を比例縮小することによって所定の波長幅の光に対する色収差の補正を行う手法（比例縮小による補正手法）を、  
15 本例の場合に適用することに想到し、波長 200 nm 以下の光に対して螢石の量  $y$  をできるだけ抑えて色収差の補正を良好に行うために、上記の通常の補正手法（螢石の量  $y$  で制御できる）と、比例縮小による補正手法（パラメータ  $x$  によって制御できる）との最適な組み合わせが、図 8 (a) の領域 B 5 であることを見いだしたものである。

20 条件式 (11) を満足しない場合、即ち直線 B 1 の上の領域 B 1 e では、螢石の量  $y$  に対して後レンズ群 G R の焦点距離  $f_2$  が短すぎる。この場合には、投影光学系全系のパワーが強すぎ、単色収差の補正自体が困難になるため好ましくない。又は、後レンズ群 G R の焦点距離  $f_2$  に対して必要以上に螢石を使用しているとも言うことができる。即ち、比  
25 例縮小の手法による色収差補正をあまり行わないことになって、無駄に螢石の使用量が増えるため好ましくない。

そして、条件式(12)を満足しない場合、即ち直線B2の上の領域B2eでは、螢石の絶対的な使用量の増加を招くために好ましくない。

また、条件式(13)を満足しない場合、即ち直線B3の外側の領域B3eでは、投影光学系の単色収差の補正は容易となるが、色収差の補正量が大幅に不足するため、結果として結像性能の悪化を招き好ましくない。なお、螢石の量 $y$ は0又は正の値であるため、条件式(14)は常に満たされている。

また、本実施の形態において、投影光学系の像側の最大開口数 $NA_w$ と螢石の量 $y$ (ディスク材に換算した使用量)とは、更に次の2つの条件式を満足することが好ましい。

$$NA_w > 0.72 \quad \dots (d-1)$$

$$y < 7.5 \quad \dots (d-2)$$

条件式(d-1)が満たされない場合には、十分な解像度が得られない。更に、螢石の大量生産は現状では困難であるため、条件式(d-2)が満たされない場合には、需要に応じて投影光学系PL(及びこれを備えた投影露光装置)の供給量を増大するのが困難になる恐れがある。

また、本実施の形態において、その後レンズ群GRの焦点距離 $f_2$ (mm)と、その投影光学系の像側の最大開口数 $NA_w$ とは、以下の条件を満足することが望ましい。

$$1.10 < f_2 / NA_w < 2.00 \quad \dots (e)$$

$f_2 / NA_w$ の値が条件式(e)の下限以下になると、コマ収差、非点収差、ディストーション等の軸外収差の補正が困難となり、 $f_2 / NA_w$ の値が条件式(e)の上限以上になると、色収差の補正が困難となる。

次に、螢石の量 $y$ を更に少なくして、かつ比例縮小による色収差の補正を良好に行うためには、条件式(11)～(14)よりも更に狭い条

件である以下の各条件式 (15) ~ (18) を満足することが望ましい。

$$y \leq (9x/2) - 270 \quad \dots (15)$$

$$y \leq 90 \quad \dots (16)$$

$$y \geq (9x/2) - (855/2) \quad \dots (17)$$

$$5 \quad y \geq 0 \quad \dots (18)$$

図8(a)において、直線C1, C2, C3, 及びC4はそれぞれ直線 ( $y = (9x/2) - 270$ )、直線 ( $y = 90$ )、直線 ( $y = (9x/2) - (855/2)$ )、及び直線 ( $y = 0$ ) を示している。従って、条件式 (15) ~ (18) を満たす ( $x, y$ ) の範囲は、直線C1, C2, C3, C4で囲まれた四角形の領域C5であり、この領域C5は領域B5の範囲内に収まっている。

また、露光光は波長が200nm以下であると共に、波長幅が半値全幅で0.5nm以下であることが望ましい。波長幅が狭くなるほど色収差の補正は容易になるが、それに応じて露光光源の構成が複雑化して製造コストが上昇し、また露光光量の低下が避けられず、スループットの低下を招く。露光光源として例えばArFエキシマレーザ光源 (波長193nm) を使用する場合、狭帯化技術によって0.5nm以下で0.3nm程度までの波長幅は合理的なコストで実現可能であり、かつ本例の補正手法によって色収差も容易に補正できる。

次に、本例では、比例縮小による補正手法を用いているが、この際に像面側で諸収差を許容範囲内に抑えて広い視野を確保するためには、投影光学系を構成する複数のレンズのうちの所定のレンズ面を非球面とすることが望ましい。しかしながら、非球面レンズは製造コストが高いため、非球面の数は所望の結像性能が得られる範囲内で最小限にすることが望ましい。

本例では、条件式 (11) ~ (14) が満たされているが、螢石の量

yについて更に次の条件を課した場合には、投影光学系中の非球面の数Aとしては2以上が望ましい。

$$0 \leq y < 40 \quad \dots (19)$$

$$2 \leq A \quad \dots (20)$$

- 5      これについて説明すると、条件式(19)が成立する場合には、螢石の量yが比較的少ないために、条件式(11)～(14)より後レンズ群GRの焦点距離f<sub>2</sub>が比較的短めに設定される。即ち、比例縮小による色収差補正が支配的になる傾向にある。このときには、非球面の面数が2面より少ないと、良好に収差補正された像側視野の範囲が狭くなり
- 10    すぎ、投影露光装置に適用した場合にスループットの低下を招くため、所望の像側視野の範囲内での収差補正を良好に行うために2面以上の非球面を用いることが望ましい。また、より広い像側視野で収差補正を良好に行うためには、その非球面の数は3面以上であることがさらに好ましい。

- 15    また、螢石の量yについて条件式(19)とは異なる次の条件を課した場合には、投影光学系中の非球面の数Aとしては1～5が望ましい。

$$40 \leq y < 70 \quad \dots (21)$$

$$1 \leq A \leq 5 \quad \dots (22)$$

- 20    この条件式(21)が成立する場合には、螢石の量yが増加したため、条件式(11)～(14)より後レンズ群GRの焦点距離f<sub>2</sub>が、条件式(19)が成立する場合に比べて長く設定できる。即ち、複数の材料を組み合わせる補正手法に加えて比例縮小による色収差補正がなされるため、1面以上で5面以下の非球面を用いることで、所望の像側視野の範囲内で収差補正を良好に行うことができる。条件式(22)から外れて、非球面を用いない場合には、比例縮小された像側視野を、比例縮小
- 25    する前の状態に維持するのが困難となり、好ましくない。また、非球面

が5面を超える場合には、必要以上に製造コストが上昇することになって好ましくない。

また、投影光学系に非球面を設ける場合、この非球面は螢石とは異なる材料（例えば石英ガラス）からなるレンズのレンズ面に設けられることが望ましい。これに対して、螢石からなるレンズに非球面を設けようとすると、螢石への非球面加工は螢石の摩耗度が大きいため困難であり、製造コスト及び製造時間の大幅な増大を招き、更には非球面精度の低下を招く恐れがある。

また、本例の投影光学系の像側視野は直径20mm以上であることが望ましく（直径25mm以上であることがより望ましい）、投影光学系の像側の最大開口数NAwは以下の条件を満足することが望ましい。

$$NAw \geq 0.65 \quad \dots (23)$$

露光波長 $\lambda$ 、最大開口数NAw及びプロセス係数k1を用いると、投影光学系によって転写される像の解像度Resは次のようになる。

$$Res = k1 \cdot \lambda / NAw \quad \dots (24)$$

従って、露光波長 $\lambda$ を200nm、最大開口数NAwを0.65として、例えば変形照明法を適用するものとしてプロセス係数k1を0.5とすると、解像度Resは約154nmとなる。従って、露光波長を200nm以下として、条件式(23)を満足することによって、次世代の半導体デバイス等を製造するために十分な解像度が得られる。

また、像側視野の直径を20mm以上にすることで、高い解像度を得た状態で高いスループットで露光を行うことができる。

次に、本発明の第9の投影光学系（第6の投影露光装置又は第4の投影露光方法）の実施の形態にかかる投影光学系では、波長が200nm以下の露光光が使用されると共に、その投影光学系中の光透過性光学材料のうちの第1の材料の量（使用量）をディスク材に換算した量をy

(kg)としている。そして、後レンズ群GRの焦点距離を $f_2$  (mm)、その投影光学系の像側の最大開口数をNA<sub>w</sub>とし、パラメータx (mm)を(10)式のように規定したときに、条件式(11)～(14)が満足されている。

5 図9は、この実施の形態におけるパラメータx (mm)と第1の材料の量y (ディスク材に換算した使用量) (kg)との関係を示し、この図9の直線B1～B4、直線C1～C4は図8(a)と同じであり、条件式(11)～(14)が満足される領域は、直線B1～B4で囲まれた領域B5である。

10 この図9の実施の形態では、投影光学系を構成するレンズの主要な材料(光透過性光学材料)として先ずその第1の材料とは異なる第2の材料を使用し、色収差補正を行うために必要に応じてその第1の材料を付加する。更に光学系を比例縮小して色消しを行う補正手法を併用する。即ち、本例は、「主要な材料(第2の材料)に色収差補正用材料(第1

15 の材料)を付加して色消しする補正手法と、比例縮小による補正手法との最適な組み合わせの範囲を見いだしたもの」と言うことができる。

本例において、その主要な材料(第2の材料)としては、石英のみならず、螢石等を使用することができる。その主要な材料が例えば石英であれば、その第1の材料としては螢石(これは図8(a)の実施の形態

20 に対応する)やフッ化バリウム(BaF)、フッ化リチウム(LiF)等を使用できる。一方、例えば露光波長が170nm以下(例えば波長157nmのF<sub>2</sub>レーザ)になると、透過率を高めるためにその主要な材料としては螢石を使用することも考えられるが、この場合にその第1の材料としては、螢石とは異なる材料(石英、BaF、LiF等)が使用

25 される。

図9において、条件式(11)を満足しない場合、後レンズ群GRの

焦点距離  $f_2$  に対して必要以上に第1の材料を使用していると言うことができる。そして、条件式(12)を満足しない場合、第2の材料の絶対的な使用量の増加を招き、例えば露光波長が170 nm以下の場合には透過率が低下しすぎるようになって好ましくない。

5        また、条件式(13)を満足しない場合、投影光学系の単色収差の補正は容易となるが、色収差の補正量が大幅に不足するため、結果として結像性能の悪化を招き好ましくない。

10        また、本例においても、十分な解像度を得て、螢石の使用量を実用的な範囲内に抑えるためには、条件式(d-1)、(d-2)を満たすことが望ましい。また、コマ収差、非点収差、ディストーション等の軸外収差を容易に補正して、色収差を容易に補正するためには、条件式(e)を満たすことが望ましい。

15        そして、本例においても、第1の材料の量  $y$  を更に少なくして、かつ比例縮小による色収差の補正を良好に行うためには、条件式(11)～(14)よりも更に狭い条件である上記の各条件式(15)～(18)を満足することが望ましい。これは、図9の直線C1～C4で囲まれた領域C5に  $(x, y)$  がある場合である。

20        また、図9において、データA1は、上記の第1実施例に対応している。その第1実施例において、露光波長はF<sub>2</sub>レーザの157 nm(170 nm以下)、レンズの材料(第2の材料)は全て石英であり、第1の材料の量  $y$  は0である。また、その第1実施例において、後レンズ群GRの焦点距離  $f_2$  は110.6 nm、投影倍率  $\beta$  は-0.25、像側の最大開口数NA<sub>w</sub>は0.75であるため、パラメータ  $x = 110.6 \cdot 4 \cdot |-0.25| \cdot 0.75^2 = 62.2$  (mm) となり、データA1はより望ましい領域C5に収まっている。

25        次に、本例の複数の数値実施例について説明する。以下の第3実施例

～第8実施例の投影光学系は、何れも狭帯化されたArFレーザが供給する波長193.3nmを基準波長としたものであり、基準波長を中心としてFWHM（半値全幅）0.35pmの範囲、即ち193.3nm $\pm$ 0.175pmの範囲で色収差補正を行っているものである。

5 図10は、第3実施例による投影光学系の光路図である。この第3実施例において、投影光学系中の光透過性屈折部材（レンズL11～L57）は、全て石英（合成石英：SiO<sub>2</sub>）で形成されている。即ち、色消し用の材料（第1の材料）は使用されていない。

図10に示す通り、第3実施例の投影光学系は、第1面A側から順に、  
10 正屈折力の前レンズ群GF、開口絞りAS、及び正屈折力の後レンズ群GRを有する。また、別の群分けによると、第3実施例の投影光学系は、第1面A側から順に、負の第1レンズ群G1、正の第2レンズ群G2、負の第3レンズ群G3、正の第4レンズ群G4、開口絞りAS、及び正の第5レンズ群G5を有し、第1レンズ群G1～第4レンズ群G4が前  
15 レンズ群GFを構成し、第5レンズ群G5が後レンズ群GRを構成している。

第1レンズ群G1は、第1面A側から順に、凸面を第1面A側に向けたメニスカス形状の負レンズL11と、凹面を第1面A側に向けたメニスカス形状の負レンズL12とを有し、これらの負レンズL11、L1  
20 2によって、両凸形状の気体レンズを形成している。負レンズL11の第1面A側のレンズ面、及び負レンズL12の第2面B側のレンズ面はそれぞれ非球面ASP1及びASP2に形成されている。

第2レンズ群G2は、凹面を第1面A側に向けたメニスカス形状の負レンズL21と、凹面を第1面A側に向けたメニスカス形状の正レンズ  
25 L22と、両凸形状の3つの正レンズL23～L25とを有する。最も第2面B側の正レンズL25の第1面A側のレンズ面は非球面ASP3

に形成されている。

第3レンズ群G3は、第1面A側より順に凸面を第1面A側に向けたメニスカス形状の負レンズL31と、両凹形状の2つの負レンズL32、L33とを有し、これら負レンズL31～L33によって、両凸形状の  
5 2つの気体レンズを形成している。最も第2面B側の負レンズL33の第2面B側のレンズ面は非球面ASP4に形成されている。

第4レンズ群G4は、第1面A側より順に、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の2つの正レンズL41、L42と、両凸形状の正レンズL43とを有する。

10 後レンズ群GRでもある第5レンズ群G5は、第1面A側から順に、両凹形状の負レンズL51と、両凸形状の2つの正レンズL52、L53と、第1面A側に凸面を向けたメニスカス形状の3つの正レンズL54～L56と、第1面A側に凹面を向けた平凹形状の負レンズL57とを有する。ここで、正レンズL52の第1面A側のレンズ面、及び正レ  
15 ンズL56の第2面B側のレンズ面はそれぞれ非球面ASP5及びASP6に形成されている。

図11は、第4実施例による投影光学系の光路図であり、この第4実施例において、投影光学系中の光透過性屈折部材の主要な材料（第2の材料）としては石英ガラス（合成石英）が使用され、色消し用の材料  
20 （第1の材料）としては螢石が使用されている。

図11に示す通り、第4実施例の投影光学系は、第1面A側から順に、正屈折力の前レンズ群GF、開口絞りAS、及び正屈折力の後レンズ群GRを有する。また、別の群分けによると、第4実施例の投影光学系PLは、第1面A側から順に、負の第1レンズ群G1、正の第2レンズ群  
25 G2、負の第3レンズ群G3、正の第4レンズ群G4、開口絞りAS、及び正の第5レンズ群G5を有し、第1レンズ群G1～第4レンズ群G

4 が前レンズ群 G F に対応し、第 5 レンズ群 G 5 が後レンズ群 G R に対応している。

第 1 レンズ群 G 1 は、第 1 面 A 側から順に、凸面を第 1 面 A 側に向けたメニスカス形状の負レンズ L 1 1 と、凹面を第 1 面 A 側に向けたメニ  
5 スカス形状の負レンズ L 1 2 とを有し、これらの負レンズ L 1 1, L 1 2 によって、両凸形状の気体レンズを形成している。負レンズ L 1 1 の第 1 面 A 側のレンズ面、及び負レンズ L 1 2 の第 2 面 B 側のレンズ面は、それぞれ非球面 A S P 1 及び A S P 2 に形成されている。これら 2 つの負レンズ L 1 1, L 1 2 は共に石英ガラスから形成されている。

10 第 2 レンズ G 2 は、第 1 面 A 側から順に、凹面を第 1 面 A 側に向けたメニスカス形状の正レンズ L 2 1 と、両凸形状の 3 つの正レンズ L 2 2 ~ L 2 4 と、凸面を第 1 面 A 側に向けたメニスカス形状の正レンズ L 2 5 とを有する。最も第 2 面 B 側の正レンズ L 2 5 の第 1 面 A 側のレンズ面は非球面 A S P 3 に形成されている。第 2 レンズ群 G 2 の全てのレン  
15 ズは石英ガラスから形成されている。

第 3 レンズ群 G 3 は、第 1 面 A 側から順に、凸面を第 1 面 A 側に向けたメニスカス形状の負レンズ L 3 1 と、両凹形状の 2 つの負レンズ L 3 2, L 3 3 とを有し、これら負レンズ L 3 1 ~ L 3 3 によって、両凸形状の 2 つの気体レンズを形成している。ここで、最も第 2 面 B 側の負レ  
20 ンズ L 3 3 の第 2 面 B 側のレンズ面は非球面 A S P 4 に形成されている。第 3 レンズ群 G 3 中の全ての負レンズ L 3 1 ~ L 3 3 は石英ガラスで形成されている。

第 4 レンズ群 G 4 は、第 1 面 A 側より順に、第 1 面 A 側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ L 4 1 と、第 1 面 A 側に凹面を向けたメ  
25 スカス形状の正レンズ L 4 2 と、両凸形状の正レンズ L 4 3 とを有する。ここで、2 つの正レンズ L 4 1, L 4 2 は石英ガラスから形成され、第

2面B側の正レンズL 4 3は螢石から形成されている。

第5レンズ群G 5は、第1面A側から順に、両凹形状の負レンズL 5 1と、両凸形状の2つの正レンズL 5 2, L 5 3と、第1面A側に凸面を向けた3つのメニスカス形状の正レンズL 5 4～L 5 6と、両凹形状の負レンズL 5 7とを有する。ここで、負レンズL 5 1の第2面B側のレンズ面、及び正レンズL 5 6の第2面B側のレンズ面はそれぞれ非球面ASP 5及びASP 6に形成されている。第5レンズ群G 5においては、最も第2面B側の負レンズL 5 7のみが螢石で形成されており、残りのレンズL 5 1～L 5 6が石英ガラスで形成されている。

10      このように第4実施例では、レンズ材料（硝材）として石英ガラス（合成石英）と螢石とが使用されているが、非球面形状のレンズ面は全て石英ガラスからなるレンズに形成されている。

図1 2は、第5実施例による投影光学系の光路図であり、この第5実施例において、投影光学系中の光透過性屈折部材の主要な材料（第2の材料）としては石英ガラス（合成石英）が使用され、色消し用の材料（第1の材料）としては螢石が使用されている。

図1 2に示す通り、第5実施例の投影光学系は、第1面A側から順に、正屈折力の前レンズ群GF、開口絞りAS、及び正屈折力の後レンズ群GRを有する。また、別の群分けによると、第5実施例の投影光学系は、第1面A側から順に、負の第1レンズ群G 1、正の第2レンズ群G 2、負の第3レンズ群G 3、正の第4レンズ群G 4、開口絞りAS、及び正の第5レンズ群G 5を有し、第1レンズ群G 1～第4レンズ群G 4が前レンズ群GFに対応し、第5レンズ群G 5が後レンズ群GRに対応している。

25      第1レンズ群G 1は、第1面A側から順に、平面を第1面A側に向けた平凹形状の負レンズL 1 1と、凹面を第1面A側に向けたメニスカス

形状の負レンズL 1 2とを有し、これらの負レンズL 1 1, L 1 2によって、両凸形状の気体レンズを形成している。負レンズL 1 1の第2面B側のレンズ面は非球面ASP 1に形成されている。これら2つの負レンズL 1 1, L 1 2は共に石英ガラスから形成されている。

- 5 第2レンズ群G 2は、第1面A側から順に、凹面を第1面A側に向けたメニスカス形状の負レンズL 2 1と、凹面を第1面A側に向けたメニスカス形状の正レンズL 2 2と、両凸形状の正レンズL 2 3と、凸面を第1面A側に向けたメニスカス形状の2つの正レンズL 2 4, L 2 5とを有する。最も第1面A側の負レンズL 2 1の第1面A側のレンズ面は非  
10 球面ASP 2に形成されている。第2レンズ群G 2の全てのレンズは石英ガラスから形成されている。

- 第3レンズ群G 3は、第1面A側から順に、凸面を第1面A側に向けたメニスカス形状の負レンズL 3 1と、両凹形状の2つの負レンズL 3 2, L 3 3とを有し、これら負レンズL 3 1~L 3 3によって、両凸形  
15 状の2つの気体レンズを形成している。ここで、最も第1面A側の負レンズL 3 1の第2面B側のレンズ面、及び最も第2面B側の負レンズL 3 3の第2面B側のレンズ面はそれぞれ非球面ASP 3及びASP 4に形成されている。第3レンズ群G 3中の全ての負レンズL 3 1~L 3 3は石英ガラスで形成されている。

- 20 第4レンズ群G 4は、第1面A側より順に、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズL 4 1と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズL 4 2と、両凸形状の正レンズL 4 3とを有する。ここで、第1面A側の2つの正レンズL 4 1, L 4 2は螢石から形成され、第2面B側の正レンズL 4 3は石英ガラスから形成されている。

- 25 第5レンズ群G 5は、第1面A側から順に、両凹形状の負レンズL 5 1と、両凸形状の2つの正レンズL 5 2, L 5 3と、第1面A側に凸面

を向けた3つのメニスカス形状の正レンズL54～L56と、第1面A側に凹面を向けた平凹形状の負レンズL57とを有する。ここで、負レンズL51の第2面B側のレンズ面、及び正レンズL55の第2面B側のレンズ面はそれぞれ非球面ASP5及びASP6に形成されている。

- 5 第5レンズ群G5においては、最も第2面B側の2つのレンズL56、L57のみが螢石で形成されており、残りのレンズL51～L55が石英ガラスで形成されている。

このように第5実施例でも、レンズ材料（硝材）として石英ガラス（合成石英）と螢石とが使用されているが、非球面形状のレンズ面は全  
10 て石英ガラスからなるレンズに形成されている。

図13は、第6実施例による投影光学系の光路図であり、この第6実施例において、投影光学系中の光透過性屈折部材の主要な材料（第2の材料）としては石英ガラス（合成石英）が使用され、色消し用の材料（第1の材料）としては螢石が使用されている。

- 15 図13に示す通り、第6実施例の投影光学系は、第1面A側から順に、正屈折力の前レンズ群GF、開口絞りAS、及び正屈折力の後レンズ群GRを有するダブルウェスト型の結像光学系である。

そして、前レンズ群GFは、第1面A側から順に、両凹形状の負レンズL11と、両凸形状の3つの正レンズL12～L14と、凸面を第1  
20 面A側に向けたメニスカス形状の負レンズL15と、両凸形状の正レンズL16と、両凹形状の負レンズL17と、両凹形状の2つの負レンズL18、L19と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL20と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズL21と、両凸形状の正レンズL22と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズL23と、両凸形状の2つの正レンズL24、L2  
25 5と、第1面A側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズL26と、

両凹形状の負レンズL 2 7と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL 2 8と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズL 2 9とを有している。そして、負レンズL 2 0の第1面A側のレンズ面、負レンズL 2 7の第1面A側のレンズ面、及び負レンズL 2 8の第2面B側のレンズ面がそれぞれ非球面ASP 1, ASP 2, ASP 3に形成されている。そして、最も第2面B側の正レンズL 2 9のみが螢石より形成され、それ以外のレンズL 1 1～L 2 8は全て石英ガラスから形成されている。

後レンズ群GRは、第1面A側より順に、両凸形状の2つの正レンズL 5 1, L 5 2と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL 5 3と、両凸形状の正レンズL 5 4と、第1面A側に凸面を向けた3つのメニスカス形状の正レンズL 5 5～L 5 7と、第1面A側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズL 5 8と、両凸形状の正レンズL 5 9とを有する。ここで、4枚のレンズL 5 3, L 5 4, L 5 8, L 5 9が石英レンズより形成され、その他の5枚のレンズL 5 1, L 5 2, L 5 5, L 5 6, L 5 7が螢石より形成されている。

このように第6実施例でも、レンズ材料（硝材）として石英ガラス（合成石英）と螢石とが使用されているが、非球面形状のレンズ面は全て石英ガラスからなるレンズに形成されている。

図1 4は、第7実施例による投影光学系の光路図であり、この第7実施例において、投影光学系中の光透過性屈折部材の主要な材料（第2の材料）としては石英ガラス（合成石英）が使用され、色消し用の材料（第1の材料）としては螢石が使用されている。

図1 4に示す通り、第7実施例の投影光学系は、第1面A側から順に、正屈折力の前レンズ群GF、開口絞りAS、及び正屈折力の後レンズ群GRを有するダブルウェスト型の結像光学系である。

そして、前レンズ群GFは、第1面A側から順に、両凹形状の負レンズL11と、両凸形状の3つの正レンズL12～L14と、凸面を第1面A側に向けたメニスカス形状の負レンズL15と、凹面を第1面A側に向けたメニスカス形状の正レンズL16と、凸面を第1面A側に向けたメニスカス形状の負レンズL17と、両凹形状の2つの負レンズL18, L19と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL20と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズL21と、両凸形状の正レンズL22と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズL23と、第1面A側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズL24と、両凸形状の正レンズL25と、第1面A側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズL26と、両凹形状の2枚の負レンズL27, L28と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズL29とを有している。そして、負レンズL20の第1面A側のレンズ面、負レンズL27の第1面A側のレンズ面、及び負レンズL28の第2面B側のレンズ面がそれぞれ非球面ASP1, ASP2, ASP3に形成されている。そして、最も第2面B側の正レンズL29、及び中程の正レンズL24のみが螢石より形成され、それ以外のレンズL11～L23, L25～L28は全て石英ガラスから形成されている。

後レンズ群GRは、第1面A側より順に、両凸形状の2つの正レンズL51, L52と、第1面A側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズL53と、両凸形状の正レンズL54と、第1面A側に凸面を向けた3つのメニスカス形状の正レンズL55～L57と、両凹形状の負レンズL58と、両凸形状の正レンズL59とを有する。ここで、4枚のレンズL53, L54, L58, L59が石英レンズより形成され、その他の5枚のレンズL51, L52, L55, L56, L57が螢石より形成されている。

このように第7実施例でも、レンズ材料（硝材）として石英ガラス（合成石英）と螢石とが使用されているが、非球面形状のレンズ面は全て石英ガラスからなるレンズに形成されている。

次に、本例の第8実施例の投影光学系のレンズ構成は、図2の第2実施例のレンズ構成と同一である。但し、その第2実施例では、基準波長である193.306 nmに対して波長幅 $\pm 0.4$  pmの範囲で色収差補正を行っていたが、この第8実施例では193.3 nmを中心としてFWHM（半値全幅）0.35 pmの範囲、即ち193.3 nm $\pm 0.175$  pmの範囲で色収差補正を行っている。なお、この範囲は第2実施例の色収差補正範囲（基準波長に対して波長幅 $\pm 0.4$  pmの範囲）と実質的に同等である。

以下の表4～表8に第3実施例～第7実施例の投影光学系の諸元をそれぞれ示す。表4～表8において、左端の列には第1面Aからの各レンズ面の番号、第2列には各レンズ面の曲率半径、第3列には各レンズ面から次のレンズ面までの面間隔、第4列にはレンズ材料、第5列には非球面の符号、第6列には各レンズの符号、第7列には各レンズ面の有効な直径 $\phi_{eff}$ を示す。また、非球面レンズ面についての第2列の曲率半径は頂点曲率半径を示す。非球面形状は上述の式（a）で示されている。

表4～表8の最後にそれぞれ「非球面データ」として各非球面についての円錐係数 $\kappa$ 、非球面係数A, B, C, D, E, Fを示した。

第3実施例～第7実施例において、石英ガラス（合成石英）の基準波長（193.3 nm）での屈折率、波長+1 pm当たりの屈折率の変化量（分散）、及び比重は以下の通りである。

石英ガラスの屈折率：1.560326

石英ガラスの分散： $-1.591 \times 10^{-6} / \text{pm}$

石英ガラスの比重：2.2

そして、螢石の上記基準波長（193.3nm）での屈折率、波長+1pm当たりの屈折率の変化量（分散）、及び比重は以下の通りである。

- 螢石の屈折率 : 1.501455
- 螢石の分散 :  $-0.980 \times 10^{-6} / \text{pm}$
- 5 螢石の比重 : 3.18

なお、以下の表4～表8において、SiO<sub>2</sub>は石英ガラスを、CaF<sub>2</sub>は螢石を表し、d0は第1面Aから最も第1面A側のレンズ面までの距離、WDは最も第2面B側のレンズ面から第2面Bまでの距離（作動距離）を示す。

- 10 また、第3実施例～第7実施例について共通に、投影光学系の開口数NA（第2面B側の最大開口数NAw）、投影倍率β、及び第2面B上でのイメージサークルの直径φは以下の通りである。

NA = 0.75

β = -1/4

15 φ = 27.5mm

《表4》

第3実施例（図10）

d0 = 55.000001(mm)

20 WD = 11.000007(mm)

	曲率半径 (mm)	面間隔 (mm)	ガラス	非球面	レンズ	φ <sub>eff</sub> (mm)
	1: 7091.42905	15.000000	SiO <sub>2</sub>	ASP1	L11	65.764267
	2: 355.28402	26.433708				67.469398
25	3: -130.38826	25.918810	SiO <sub>2</sub>		L12	67.725563
	4: -754.54900	17.524438		ASP2		83.206055

56

	5:	-184.75652	50.000000	SiO <sub>2</sub>		L21	83.795761
	6:	-201.31203	1.000000				106.116302
	7:	-19890.02238	49.483069	SiO <sub>2</sub>		L22	122.397278
	8:	-316.51565	1.000000				129.413116
5	9:	1245.95085	42.403865	SiO <sub>2</sub>		L23	138.357544
	10:	-498.42771	66.560407				140.000000
	11:	278.47126	51.637906	SiO <sub>2</sub>		L24	141.615372
	12:	-5012.84861	1.000000				139.454163
	13:	289.66134	44.179422	SiO <sub>2</sub>	ASP3	L25	129.500671
10	14:	-2001.37857	42.267253				124.865738
	15:	790.93523	49.069868	SiO <sub>2</sub>		L31	91.125748
	16:	135.96684	33.309217				65.088898
	17:	-267.87840	17.040059	SiO <sub>2</sub>		L32	61.547058
	18:	270.92888	19.267729				57.542892
15	19:	-142.62085	16.121708	SiO <sub>2</sub>		L33	57.458405
	20:	178.57511	16.822454		ASP4		61.534664
	21:	-421.32209	50.000000	SiO <sub>2</sub>		L41	61.972908
	22:	-259.46576	1.000000				76.112648
	23:	-2487.25765	50.000000	SiO <sub>2</sub>		L42	79.889153
20	24:	-308.14629	76.768520				88.439072
	25:	280.00000	41.127434	SiO <sub>2</sub>		L43	108.679848
	26:	-720.48955	1.000000				108.229263
	27:	∞	42.733304			AS	106.832184
	28:	-291.63339	24.106015	SiO <sub>2</sub>		L51	104.909050
25	29:	462.50054	3.915270		ASP5		111.616905
	30:	471.58425	40.504164	SiO <sub>2</sub>		L52	112.104271

57

	31:	-415.23032	1.000000			114.105286
	32:	454.04392	43.243602	SiO <sub>2</sub>	L53	118.187286
	33:	-454.04392	16.312093			117.964470
	34:	165.07875	34.495142	SiO <sub>2</sub>	L54	104.927750
5	35:	339.14804	1.000000			100.211807
	36:	150.00000	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L55	92.390938
	37:	224.50669	1.706390			75.144737
	38:	129.56425	36.373254	SiO <sub>2</sub>	L56	69.153374
	39:	270.95319	6.298515		ASP6	54.786152
10	40:	-21804.34155	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L57	53.646206
	41:	∞	(WD)			26.202827

[非球面データ]

ASP1		ASP4	
	κ : 0.000000		κ : 0.000000
15	A : 0.961814 × 10 <sup>-7</sup>		A : 0.408033 × 10 <sup>-7</sup>
	B : -0.378122 × 10 <sup>-11</sup>		B : -0.582850 × 10 <sup>-11</sup>
	C : 0.392716 × 10 <sup>-16</sup>		C : 0.132297 × 10 <sup>-15</sup>
	D : 0.424498 × 10 <sup>-20</sup>		D : 0.117896 × 10 <sup>-19</sup>
	E : -0.220614 × 10 <sup>-23</sup>		E : -0.974397 × 10 <sup>-24</sup>
20	F : 0.200305 × 10 <sup>-27</sup>		F : 0.578268 × 10 <sup>-28</sup>
ASP2		ASP5	
	κ : 0.000000		κ : 0.000000
	A : 0.263695 × 10 <sup>-7</sup>		A : 0.186307 × 10 <sup>-7</sup>
	B : -0.882693 × 10 <sup>-12</sup>		B : -0.146992 × 10 <sup>-13</sup>
25	C : 0.290428 × 10 <sup>-16</sup>		C : -0.448096 × 10 <sup>-17</sup>
	D : 0.285450 × 10 <sup>-21</sup>		D : -0.180733 × 10 <sup>-22</sup>

	E : $-0.170241 \times 10^{-24}$	E : $0.986636 \times 10^{-27}$
	F : $0.929230 \times 10^{-29}$	F : $-0.118893 \times 10^{-31}$
	<hr/> ASP3 <hr/>	<hr/> ASP6 <hr/>
	K : 0.000000	K : 0.000000
5	A : $-0.889053 \times 10^{-8}$	A : $-0.256013 \times 10^{-7}$
	B : $-0.224185 \times 10^{-12}$	B : $-0.517336 \times 10^{-11}$
	C : $-0.211101 \times 10^{-17}$	C : $0.740082 \times 10^{-16}$
	D : $-0.108571 \times 10^{-22}$	D : $-0.106082 \times 10^{-19}$
	E : $0.470441 \times 10^{-27}$	E : $0.506294 \times 10^{-23}$
10	F : $0.130782 \times 10^{-31}$	F : $-0.312361 \times 10^{-27}$

## 《表5》

## 第4実施例 (図11)

$$d_0 = 61.517734 \text{ (mm)}$$

$$15 \quad WD = 11.723518 \text{ (mm)}$$

	曲率半径 (mm)	面間隔 (mm)	ガラス	非球面	レンズ	$\phi_{eff}$ (mm)
	1: 850.22148	15.762264	SiO <sub>2</sub>	ASP1	L11	67.516739
	2: 258.78675	32.754986				68.621666
20	3: -120.04708	29.316457	SiO <sub>2</sub>		L12	69.040245
	4: -1436.64708	14.154830		ASP2		88.608788
	5: -262.93413	49.861514	SiO <sub>2</sub>		L21	89.277542
	6: -204.39549	1.000000				108.090843
	7: 4807.74825	47.706981	SiO <sub>2</sub>		L22	124.939384
25	8: -334.63584	1.000000				130.588333
	9: 943.02750	38.323507	SiO <sub>2</sub>		L23	138.787674

	10:	-755.20042	52.297712			139.999893
	11:	314.45430	52.295370	SiO <sub>2</sub>	L24	142.105682
	12:	-1342.07699	1.000000			140.302780
	13:	220.89539	44.997489	SiO <sub>2</sub>	ASP3 L25	125.209908
5	14:	1112.83084	35.915976			119.146675
	15:	578.45483	47.943238	SiO <sub>2</sub>	L31	94.646919
	16:	137.07988	34.945536			68.147148
	17:	-290.24030	22.821650	SiO <sub>2</sub>	L32	64.390198
	18:	284.15051	19.770859			59.085491
10	19:	-144.74289	15.000000	SiO <sub>2</sub>	L33	58.975883
	20:	182.17660	18.923653		ASP4	62.526440
	21:	-316.81092	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L41	62.945671
	22:	-235.35205	1.000000			77.530685
	23:	-1288.79277	48.502244	SiO <sub>2</sub>	L42	81.365692
15	24:	-310.15694	87.817988			90.067673
	25:	280.00000	44.217287	CaF <sub>2</sub>	L43	114.022461
	26:	-726.81420	1.000000			113.702507
	27:	∞	34.906154		AS	112.151863
	28:	-321.35755	24.106015	SiO <sub>2</sub>	L51	111.345039
20	29:	527.14450	3.208930		ASP5	117.654945
	30:	526.07539	41.883852	SiO <sub>2</sub>	L52	117.834465
	31:	-420.10068	1.000000			119.874275
	32:	501.17942	44.518152	SiO <sub>2</sub>	L53	124.057274
	33:	-518.35529	23.847453			123.851112
25	34:	187.05620	37.766684	SiO <sub>2</sub>	L54	111.266914
	35:	401.71759	3.209637			105.841919

	36:	150.18738	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L55	96.210228
	37:	247.90367	7.654279			80.668587
	38:	129.88090	35.932549	SiO <sub>2</sub>	L56	70.574219
	39:	296.77641	6.269996	ASP6		57.089531
5	40:	-55171.62371	50.000000	CaF <sub>2</sub>	L57	55.946609
	41:	8863.22783	(WD)			26.976627

[非球面データ]

ASP1		ASP4	
	$\kappa$ : 0.000000		$\kappa$ : 0.000000
10	A : $0.973900 \times 10^{-7}$		A : $0.607276 \times 10^{-7}$
	B : $-0.304719 \times 10^{-11}$		B : $-0.700544 \times 10^{-11}$
	C : $0.103626 \times 10^{-15}$		C : $0.760900 \times 10^{-16}$
	D : $0.933452 \times 10^{-20}$		D : $0.201180 \times 10^{-19}$
	E : $-0.259784 \times 10^{-23}$		E : $-0.160443 \times 10^{-23}$
15	F : $0.281860 \times 10^{-27}$		F : $0.856074 \times 10^{-28}$
ASP2		ASP5	
	$\kappa$ : 0.000000		$\kappa$ : 0.000000
	A : $0.525544 \times 10^{-8}$		A : $0.157329 \times 10^{-7}$
	B : $-0.471274 \times 10^{-12}$		B : $-0.167548 \times 10^{-14}$
20	C : $0.546888 \times 10^{-16}$		C : $-0.304998 \times 10^{-17}$
	D : $-0.177219 \times 10^{-20}$		D : $-0.499814 \times 10^{-23}$
	E : $0.249175 \times 10^{-26}$		E : $0.552478 \times 10^{-27}$
	F : $0.442229 \times 10^{-29}$		F : $-0.684401 \times 10^{-32}$
ASP3		ASP6	
25	$\kappa$ : 0.000000		$\kappa$ : 0.000000
	A : $-0.378457 \times 10^{-8}$		A : $-0.183007 \times 10^{-7}$

	B : $-0.141446 \times 10^{-12}$	B : $-0.320743 \times 10^{-11}$
	C : $-0.231375 \times 10^{-17}$	C : $0.474775 \times 10^{-16}$
	D : $-0.721926 \times 10^{-22}$	D : $-0.990352 \times 10^{-20}$
	E : $-0.407320 \times 10^{-27}$	E : $0.269071 \times 10^{-23}$
5	F : $-0.595894 \times 10^{-31}$	F : $-0.170233 \times 10^{-27}$

## 《表6》

## 第5実施例 (図12)

d0 = 55.000003 (mm)

10 WD = 10.999994 (mm)

	曲率半径 (mm)	面間隔 (mm)	ガラス	非球面	レンズ	$\phi_{eff}$ (mm)
	1: $\infty$	15.000000	SiO <sub>2</sub>		L11	65.321190
	2: 314.62704	27.244624		ASP1		67.796265
15	3: -123.18686	27.378474	SiO <sub>2</sub>		L12	68.086769
	4: -266.68374	14.602794				82.068336
	5: -150.00000	50.000000	SiO <sub>2</sub>	ASP2	L21	82.538231
	6: -244.34192	1.000000				110.219063
	7: -1198.84474	44.914055	SiO <sub>2</sub>		L22	122.357353
20	8: -232.66356	1.000000				127.431076
	9: 5275.64252	43.090859	SiO <sub>2</sub>		L23	137.635925
	10: -360.63034	5.030036				139.581192
	11: 285.72583	47.577067	SiO <sub>2</sub>		L24	139.546677
	12: 4561.05389	6.030041				136.970505
25	13: 212.35017	50.000000	SiO <sub>2</sub>		L25	124.093590
	14: 796.03296	35.691263				116.083298

62

	15:	762.23216	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L31	95.138901
	16:	147.63565	50.187741		ASP3	69.070221
	17:	-185.70008	15.000000	SiO <sub>2</sub>	L32	61.216537
	18:	639.43295	15.701720			59.080795
5	19:	-153.51758	15.000000	SiO <sub>2</sub>	L33	59.002586
	20:	185.58159	20.611177		ASP4	63.036831
	21:	-255.87716	50.000000	CaF <sub>2</sub>	L41	63.577843
	22:	-249.68527	3.980529			80.211006
	23:	-3778.76287	35.000000	CaF <sub>2</sub>	L42	86.501961
10	24:	-224.75345	129.599557			90.822037
	25:	280.00000	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L43	120.569611
	26:	-913.12886	10.916703			119.561447
	27:	∞	33.865871		AS	117.247459
	28:	-361.62622	24.106015	SiO <sub>2</sub>	L51	115.516739
15	29:	416.11728	5.557131		ASP5	118.568176
	30:	416.69495	44.381334	SiO <sub>2</sub>	L52	119.549057
	31:	-543.90687	1.000000			120.733887
	32:	590.20673	38.166548	SiO <sub>2</sub>	L53	121.085487
	33:	-590.20673	24.232291			120.207893
20	34:	180.00000	39.243850	SiO <sub>2</sub>	L54	108.463890
	35:	309.38340	8.819688			101.371346
	36:	150.00000	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L55	92.781006
	37:	225.00345	1.166306		ASP6	77.138145
	38:	114.38119	43.612328	CaF <sub>2</sub>	L56	70.172379
25	39:	390.97069	5.290357			54.909901
	40:	-7097.28080	50.000000	CaF <sub>2</sub>	L57	53.587784

41:           ∞           (WD)

《表 7》

第 6 実施例 (図 13)

$$d_0 = 63.749760 \text{ (mm)}$$

$$5 \quad WD = 11.204291 \text{ (mm)}$$

	曲率半径 (mm)	面間隔 (mm)	ガラス	非球面	レンズ	$\phi_{eff}$ (mm)
	1: -384.26106	15.000000	SiO <sub>2</sub>		L11	65.998985
	2: 281.85126	11.978853				71.535873
10	3: 348.95782	28.971808	SiO <sub>2</sub>		L12	77.330864
	4: -344.97594	1.000000				79.541092
	5: 838.59364	22.091944	SiO <sub>2</sub>		L13	82.133408
	6: -491.36531	1.000000				82.994720
	7: 404.67369	24.295064	SiO <sub>2</sub>		L14	83.439461
15	8: -747.56330	1.000000				82.796455
	9: 231.07842	15.000000	SiO <sub>2</sub>		L15	79.702614
	10: 134.40371	10.555015				74.346352
	11: 220.98194	31.018759	SiO <sub>2</sub>		L16	74.341751
	12: -376.01279	1.000000				72.918823
20	13: -2565.43982	31.296610	SiO <sub>2</sub>		L17	70.508438
	14: 150.78493	21.342695				61.532974
	15: -265.42164	15.000000	SiO <sub>2</sub>		L18	61.468307
	16: 205.74686	22.633359				62.887703
	17: -175.10057	15.000000	SiO <sub>2</sub>		L19	63.156342
25	18: 384.28896	26.307128				73.675224
	19: -337.20967	15.000000	SiO <sub>2</sub>	ASP1	L20	81.524727

65

	20:	-2665.09055	11.890080			92.491890
	21:	-355.33094	23.660088	SiO <sub>2</sub>	L21	93.401833
	22:	-212.64088	1.000000			100.326263
	23:	9025.03298	37.428886	SiO <sub>2</sub>	L22	118.812363
5	24:	-307.87323	1.000000			123.020493
	25:	-3478.34934	35.232416	SiO <sub>2</sub>	L23	131.558868
	26:	-350.00000	1.000000			134.129471
	27:	655.38208	45.610359	SiO <sub>2</sub>	L24	139.999451
	28:	-513.31974	1.000000			140.078323
10	29:	213.32620	57.138993	SiO <sub>2</sub>	L25	130.179550
	30:	-4397.04839	33.096623			126.273247
	31:	887.72778	15.000000	SiO <sub>2</sub>	L26	100.220100
	32:	161.65056	57.435235			85.838745
	33:	-157.17781	15.000000	SiO <sub>2</sub> ASP2	L27	82.709534
15	34:	219.87361	32.150950			84.204674
	35:	-255.39120	15.000000	SiO <sub>2</sub>	L28	84.510979
	36:	-8581.78601	11.405070	ASP3		93.478951
	37:	-388.87067	44.944016	CaF <sub>2</sub>	L29	94.167152
	38:	-218.37501	1.000000			106.093346
20	39:	∞	14.244161		AS	113.779617
	40:	2733.87010	44.018422	CaF <sub>2</sub>	L51	121.696854
	41:	-283.88458	1.000000			124.288734
	42:	336.30525	43.993297	CaF <sub>2</sub>	L52	133.359390
	43:	-1641.02052	26.208757			133.284454
25	44:	-305.07796	25.000000	SiO <sub>2</sub>	L53	133.233185
	45:	-428.53617	9.225281			137.790878

66

	46:	704.67535	38.550758	SiO <sub>2</sub>	L54	139.115891
	47:	-708.09492	1.000000			138.525772
	48:	210.28367	39.284351	CaF <sub>2</sub>	L55	126.898781
	49:	533.77492	1.000000			122.815582
5	50:	178.50760	37.746739	CaF <sub>2</sub>	L56	111.402145
	51:	379.62268	1.057673			104.079216
	52:	169.01250	33.580626	CaF <sub>2</sub>	L57	93.513443
	53:	510.82832	7.325751			84.815453
	54:	4574.64963	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L58	83.638657
10	55:	379.11421	2.326181			53.309875
	56:	563.01655	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L59	52.367188
	57:	-4692.22208	(WD)			26.519352

[非球面データ]

	ASP1	ASP3
15	$\kappa : 0.000000$	$\kappa : 0.000000$
	$A : 0.216518 \times 10^{-7}$	$A : -0.170958 \times 10^{-7}$
	$B : 0.109348 \times 10^{-11}$	$B : 0.631731 \times 10^{-12}$
	$C : 0.396907 \times 10^{-16}$	$C : -0.315858 \times 10^{-16}$
	$D : 0.177070 \times 10^{-20}$	$D : 0.957027 \times 10^{-21}$
20	$E : 0.301350 \times 10^{-25}$	$E : -0.298216 \times 10^{-25}$
	$F : 0.748178 \times 10^{-29}$	$F : -0.655478 \times 10^{-30}$
	ASP2	
	$\kappa : 0.339337$	
	$A : 0.468446 \times 10^{-5}$	
25	$B : 0.323507 \times 10^{-11}$	
	$C : -0.277057 \times 10^{-17}$	

$$D : 0.454850 \times 10^{-20}$$

$$E : -0.183005 \times 10^{-24}$$

$$F : 0.121371 \times 10^{-28}$$

## 5 《表 8》

第 7 実施例 (図 1 4)

$$d_0 = 63.749746 \text{ (mm)}$$

$$WD = 13.389654 \text{ (mm)}$$

	曲率半径 (mm)	面間隔 (mm)	ガラス	非球面	レンズ	$\phi_{eff}$ (mm)
10	1:	-396.81755	15.164101	SiO <sub>2</sub>	L11	66.032784
	2:	318.45576	29.207879			71.297302
	3:	732.28117	25.666287	SiO <sub>2</sub>	L12	83.471970
	4:	-379.10485	1.000000			86.041710
15	5:	525.04598	29.799021	SiO <sub>2</sub>	L13	90.425125
	6:	-386.12241	1.000000			91.317108
	7:	296.71481	27.521447	SiO <sub>2</sub>	L14	91.079468
	8:	-1834.92841	1.000000			89.757446
	9:	178.21689	15.000000	SiO <sub>2</sub>	L15	84.396111
20	10:	128.82838	30.507210			77.857750
	11:	-912.34305	18.141324	SiO <sub>2</sub>	L16	77.741890
	12:	-290.65675	1.000000			77.271347
	13:	2184.51382	47.405470	SiO <sub>2</sub>	L17	74.290833
	14:	188.39849	24.667168			65.022842
25	15:	-180.63293	15.000000	SiO <sub>2</sub>	L18	64.974625
	16:	308.32087	19.189943			68.677689

68

	17:	-233.12081	15.000000	SiO <sub>2</sub>	L19	68.994057
	18:	439.39083	32.120556			79.245667
	19:	-336.14512	15.000000	SiO <sub>2</sub> ASP1	L20	89.338654
	20:	-2278.87871	10.459773			101.857063
5	21:	-456.23451	24.690274	SiO <sub>2</sub>	L21	102.820465
	22:	-254.53495	1.000000			110.024078
	23:	2814.34795	54.862219	SiO <sub>2</sub>	L22	131.136322
	24:	-244.85996	1.000000			135.344131
	25:	-1839.77632	33.926267	SiO <sub>2</sub>	L23	144.103409
10	26:	-387.77935	1.000000			146.107864
	27:	350.00000	44.271958	CaF <sub>2</sub>	L24	149.999664
	28:	22107.52832	1.000000			148.725906
	29:	254.93631	55.237937	SiO <sub>2</sub>	L25	141.298035
	30:	-6319.95498	31.357005			137.595520
15	31:	664.06027	18.849345	SiO <sub>2</sub>	L26	112.356766
	32:	185.98655	69.207456			96.853653
	33:	-174.34160	15.000000	SiO <sub>2</sub> ASP2	L27	91.180862
	34:	227.17956	38.807665			92.023659
	35:	-241.62100	15.000000	SiO <sub>2</sub>	L28	92.325920
20	36:	4079.61757	15.799849	ASP3		103.721855
	37:	-376.03072	39.964600	CaF <sub>2</sub>	L29	104.289635
	38:	-218.60371	1.000000			114.670761
	39:	∞	6.289754		AS	125.662186
	40:	1034.55937	49.970241	CaF <sub>2</sub>	L51	133.965057
25	41:	-321.64602	1.000000			136.199570
	42:	468.84931	48.186456	CaF <sub>2</sub>	L52	143.242279

	43:	-704.77302	17.319103			143.524338
	44:	-346.54415	25.000000	SiO <sub>2</sub>	L53	143.458008
	45:	-611.18135	5.972669			147.975433
	46:	506.91799	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L54	150.196625
5	47:	-1493.04288	6.590003			148.599213
	48:	277.37401	50.000000	CaF <sub>2</sub>	L55	139.059814
	49:	1289.11360	7.965482			133.022858
	50:	179.54228	44.409645	CaF <sub>2</sub>	L56	114.913353
	51:	446.48076	1.057673			106.338089
10	52:	182.12642	32.279024	CaF <sub>2</sub>	L57	95.185760
	53:	558.39361	8.108756			86.695763
	54:	-10831.21505	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L58	85.506866
	55:	322.39407	2.037539			54.834679
	56:	399.72415	50.000000	SiO <sub>2</sub>	L59	53.968300
15	57:	-1901.87993	(WD)			29.165956

[非球面データ]

ASP1		ASP3	
	$\kappa$ : 0.000000		$\kappa$ : 0.000000
	A : $0.894266 \times 10^{-5}$		A : $-0.155031 \times 10^{-7}$
20	B : $0.474065 \times 10^{-12}$		B : $0.622128 \times 10^{-12}$
	C : $0.152423 \times 10^{-15}$		C : $-0.259658 \times 10^{-16}$
	D : $0.302088 \times 10^{-21}$		D : $0.943107 \times 10^{-21}$
	E : $0.257776 \times 10^{-25}$		E : $-0.288354 \times 10^{-25}$
	F : $-0.100658 \times 10^{-30}$		F : $0.360267 \times 10^{-30}$
ASP2			
25	$\kappa$ : 0.316202		

$$\begin{aligned}
 A &: 0.472957 \times 10^{-14} \\
 B &: 0.240757 \times 10^{-11} \\
 C &: -0.215896 \times 10^{-16} \\
 D &: 0.217268 \times 10^{-20} \\
 5 \quad E &: -0.736783 \times 10^{-25} \\
 F &: 0.336149 \times 10^{-29}
 \end{aligned}$$

さて、以下の表 9 に第 3 実施例～第 7 実施例、及び第 8 実施例（第 2 実施例と同一）の条件対応数値を掲げる。表 9 において、 $f_2$  は後レンズ群 GR の焦点距離、NA は投影光学系の第 2 面 B 側の開口数（＝像面側の最大開口数  $NA_w$ ）、 $\phi$  はイメージサークルの直径（mm）、 $\beta$  は投影倍率、 $y$  は螢石のディスク材に換算した使用量（kg）、 $y_P$  は螢石のレンズ自体（シェイプ材）の使用量（kg）、A は非球面の数を表している。

《表 9》

	$f_2$ (mm)	NA ( $NA_w$ )	$\phi$ (mm)	$ \beta $	$y$ (kg)	$y_P$ (kg)	A
第 3 実施例	128.0	0.75	27.5	0.25	0.0	0.0	6
第 4 実施例	134.2	0.75	27.5	0.25	8.6	5.8	6
20 第 5 実施例	140.2	0.75	27.5	0.25	13.5	10.3	6
第 6 実施例	141.6	0.75	27.5	0.25	45.2	24.7	3
第 7 実施例	156.4	0.75	27.5	0.25	65.9	37.3	3
第 8 実施例	128.3	0.75	26.6	0.25	14.1	7.9	6

次に、この表 9 に基づいて、各実施例について、図 8 及び図 9 における螢石の量  $y$ 、及びパラメータ  $x$ （＝ $f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot NA_w^2$ ）を計算した結果を、表 10 に示す。表 10 には更に、各実施例について、後

レンズ群GRの焦点距離 $f_2$ を投影光学系の像面側の最大開口数NAw  
(=NA)で割って得られる値 $f_2/NAw$ も示している。

《表10》

	$x (= [2 \cdot 4   \beta   \cdot NAw^2])$	$y$ (螢石の量)	$f_2/NAw$
5	(mm)	(kg)	(mm)
第3実施例	72.000	0.0	170.67
第4実施例	75.488	8.6	178.93
第5実施例	78.863	13.5	186.93
第6実施例	79.650	45.2	188.80
10 第7実施例	87.975	65.9	208.53
第8実施例	72.169	14.1	171.07

表10より得られる第3実施例～第8実施例(第2実施例)の( $x$ ,  
 $y$ )のデータA3～A8(A2)が図8及び図9にプロットされている。

15 これらのデータA3～A8は何れも領域B5及び領域C5の範囲内に収  
まっており、これらの実施例は、条件式(11)～(14)、及び条件  
式(15)～(18)を満たしている。更に、これらの実施例は全て条  
件式(d-1)、(d-2)を満たしている。また、第3実施例～第6  
実施例、及び第8実施例(第2実施例)が条件式(e)を満たしている。

20 また、第3実施例～第5実施例、及び第8実施例(第2実施例)が条  
件式(19)、(20)を満たしており、第6実施例、及び第7実施例  
が条件式(21)、(22)を満たしている。

次に、非球面形状の条件式(b-1)、(b-2)及び(c-1)、  
(c-2)に関する上記の実施例の条件対応値を表11に示す。表11  
25 において、レンズ番号は、各実施例の投影光学系中の、第1面側から最  
初に非球面を持つレンズの番号であり、非球面の面番号は、その非球面

の第1面からの番号である。また、主曲率  $C_a$  は、非球面の光軸中心付近のローカル主曲率であり、式 (b-4) より計算される。そして、主曲率  $C_b$  は、レンズ有効径最周辺部のメリジオナル方向のローカル主曲率であり、式 (b-5) より計算される。

5 《表 1 1》

	第3実施例	第4実施例	第5実施例	第8実施例
レンズ番号	1	1	1	1
非球面の面番号	1	1	2	2
屈折力の正・負	正	正	負	負
10 有効径 (mm)	65.8	67.5	67.8	66.6
主曲率 $C_a$	-0.00014	-0.00118	-0.00318	0.00329
主曲率 $C_b$	-0.00308	-0.00507	0.00000	-0.00234
$C_b / C_a$	21.860	4.309	0.000	-0.711

15 この表 1 1 より、第3実施例～第5実施例、及び第8実施例（第2実施例）では、それぞれ非球面形状に関する条件式 (b-1)、(b-2)、及び (c-1)、(c-2) が満たされていることが分かる。

次に、図 1 5～図 2 0 にそれぞれ第3実施例～第8実施例（第2実施例）にかかる投影光学系の第2面B上での横収差図を示す。

20 ここで、図 1 5 (A)～図 1 9 (A) は像高  $Y=13.75$  におけるメリジオナル方向の横収差図、図 1 5 (B)～図 1 9 (B) は像高  $Y=6.875$  におけるメリジオナル方向の横収差図、図 1 5 (C)～図 1 9 (C) は像高  $Y=0$  (光軸上) におけるメリジオナル方向の横収差図、図 1 5 (D)～図 1 9 (D) は像高  $Y=13.75$  におけるサジタル方向の横収差図、図 1 5 (E)～図 1 9 (E) は像高  $Y=6.875$  におけるサジタル方向の横収差図、図 1 5 (F)～図 1 9 (F) は像高  $Y=$

25

0（光軸上）におけるサジタル方向の横収差図である。また、図20（A）は像高 $Y=13.3$ におけるメリジオナル方向の横収差図、図20（B）は像高 $Y=6.65$ におけるメリジオナル方向の横収差図、図20（C）は像高 $Y=0$ （光軸上）におけるメリジオナル方向の横収差図、図20（D）は像高 $Y=13.3$ におけるサジタル方向の横収差図、図20（E）は像高 $Y=6.65$ におけるサジタル方向の横収差図、図20（F）は像高 $Y=0$ （光軸上）におけるサジタル方向の横収差図である。

そして、図15～図20の各横収差図において、実線は波長 $\lambda=193.3$  nm（基準波長）による収差曲線、破線は波長 $\lambda=193.3$  nm $+0.175$   $\mu$ m（基準波長 $+0.175$   $\mu$ m）による収差曲線、一点鎖線は波長 $\lambda=193.3$  nm $-0.175$   $\mu$ m（基準波長 $-0.175$   $\mu$ m）による収差曲線を表している。

図15～図20から明らかな通り、各実施例の投影光学系では、それぞれ $\pm 0.175$   $\mu$ mという波長域にわたり良好に色収差補正が達成されている。

さて、第3実施例～第7実施例の投影光学系は、それぞれ直径27.5 mmの円形イメージフィールドを有し、そのイメージフィールド内で、例えば走査方向の幅約8 mm、走査直交方向の幅約2.6 mmの長方形の露光領域を確保することができる。従って、これらの実施例の投影光学系を、ステップ・アンド・スキャン方式やスティッチ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置の投影光学系として使用した場合には、高いスループットを得ることができる。

なお、上述の例では、走査型露光装置に各実施例の投影光学系PLを適用することを考えて長方形の露光領域としたが、露光領域の形状としては、円形イメージフィールドに包含される領域であれば、六角形状、

等脚台形状、不等脚台形状、菱形形状、正形状、円弧形状など様々な形状とすることができる。

上記第1実施例～第7実施例の投影光学系PLは、図5に示す実施形態の投影露光装置に適用することができる。なお、図5の説明では、光源としてF<sub>2</sub>レーザ光源を使用した例を説明しており投影光学系PLとして第1実施例を用いた例を説明しているが、ArFエキシマレーザに最適化された第2～第7実施例の投影光学系PLを適用する場合についても、光源を除く露光装置の基本的な構成は図5のものと同様である。

図5を参照して、本発明にかかる露光装置の実施の形態について説明する。

図5は、実施形態にかかる投影露光装置の概略構成を示す図である。図5においてはXYZ座標系を採用している。

実施形態にかかる露光装置は、露光光源としてF<sub>2</sub>レーザ光源を使用し、投影光学系として屈折型光学系を使用する投影露光装置に本発明を適用したものである。本実施形態の投影露光装置では、レチクル上の所定形状の照明領域に対して相対的に所定の方向へレチクル及び基板を同期して走査することにより、基板上の1つのショット領域にレチクルのパターン像を逐次的に転写するステップ・アンド・スキャン方式を採用している。このようなステップ・アンド・スキャン型の露光装置では、投影光学系の露光フィールドよりも広い基板上の領域にレチクルのパターンを露光することができる。

図5において、レーザ光源2は、例えば発振波長157nmのフッ素ダイマーレーザ（F<sub>2</sub>レーザ）に狭帯化装置を組み合わせたものを有する。F<sub>2</sub>レーザは、自然発振で1.5pm程度の半値全幅であり、当該F<sub>2</sub>レーザに狭帯化装置を組み合わせることによって、0.2pm～0.25pm程度の半値全幅のレーザ光を得ている。

5       なお、本実施形態におけるレーザ光源 2 としては、波長約 120 nm  
～約 180 nm の真空紫外域に属する光を発する光源、例えば発振波長  
146 nm のクリプトンダイマーレーザ (Kr<sub>2</sub> レーザ) や、発振波長  
126 nm のアルゴンダイマーレーザ (Ar<sub>2</sub> レーザ) などを用いるこ  
とができる。

      さて、レーザ光源 2 からのパルスレーザ光 (照明光) は、偏向ミラー  
3 にて偏向されて、光路遅延光学系 41 へ向かい、レーザ光源 2 からの  
照明光の時間的可干渉距離 (コヒーレンス長) 以上の光路長差が付けら  
れた時間的に複数の光束に分割される。なお、このような光路遅延光学  
10   系は例えば日本国特開平 1-198759 号公報や日本国特開平 11-  
174365 号公報に開示されている。

      光路遅延光学系 41 から射出される照明光は、光路偏向ミラー 42 に  
て偏向された後に、第 1 フライアイレンズ 43、ズームレンズ 44、振  
動ミラー 45 を順に介して第 2 フライアイレンズ 46 に達する。第 2 フ  
15   ライアイレンズ 46 の射出側には、有効光源のサイズ・形状を所望に設  
定するための照明光学系開口絞り用の切り替えレボルバ 5 が配置されて  
いる。本例では、照明光学系開口絞りでの光量損失を低減させるために、  
ズームレンズ 44 による第 2 フライアイレンズ 46 への光束の大きさを  
可変としている。

20   照明光学系開口絞りの開口から射出した光束は、コンデンサレンズ群  
10 を介して照明視野絞り (レチクルブラインド) 11 を照明する。な  
お、照明視野絞り 11 については、日本国特開平 4-196513 号公  
報、及びこれに対応する米国特許第 5,473,410 号に開示されて  
いる。

25   照明視野絞り 11 からの光は、偏向ミラー 151, 154、レンズ群  
152, 153, 155 からなる照明視野絞り結像光学系 (レチクルブ

ラインド結像系)を介してレチクルR上へ導かれ、レチクルR上には、照明視野絞り10の開口部の像である照明領域が形成される。レチクルR上の照明領域からの光は、投影光学系PLを介してウエハW上へ導かれ、ウエハW上には、レチクルRの照明領域内のパターンの縮小像が形成される。

- さて、真空紫外域の波長の光を露光光とする場合には、その光路から酸素、水蒸気、炭化水素系のガス等の、かかる波長帯域の光に対し強い吸収特性を有するガス(以下、適宜「吸収性ガス」と呼ぶ)を排除する必要がある。
- 10 従って、本実施形態では、照明光路(レーザ光源2~レチクルRへ至る光路)及び投影光路(レチクルR~ウエハWへ至る光路)を外部雰囲気から遮断し、それらの光路を真空紫外域の光に対する吸収の少ない特性を有する特定ガスとしての窒素、ヘリウム、アルゴン、ネオン、クリプトンなどのガス、またはそれらの混合ガス(以下、適宜「低吸収性ガス、あるいは「特定ガス」と呼ぶ)で満たしている。

- 15 具体的には、レーザ光源2から光遅延光学系41までの光路をケーシング30により外部雰囲気より遮断し、光遅延光学系41から照明視野絞り11までの光路をケーシング40により外部雰囲気より遮断し、照明視野絞り結像光学系をケーシング150により外部雰囲気から遮断し、それらの光路内に上記特定ガスを充填している。また、投影光学系PL自体もその鏡筒がケーシングとなっており、その内部光路に上記特定ガスを充填している。

- 20 なお、各光路に充填される特定ガスとしては、ヘリウムを用いることが好ましい。但し、レーザ光源2~レチクルRまでの照明光学系の光路(ケーシング30、40、150)については特定ガスとして窒素を用いても良い。

ケーシング 170 は、照明視野絞り結像光学系を納めたケーシング 150 と投影光学系 PL との間の空間を外部雰囲気から遮断しており、その内部にレチクル R を保持するレチクルステージ RS を収納している。このケーシング 170 には、レチクル R を搬入・搬出するための扉 173 が設けられており、この扉 173 の外側には、レチクル R を搬入・搬出時にケーシング 170 内の雰囲気汚染されるのを防ぐためのガス置換室 174 が設けられている。このガス置換室 174 にも扉 177 が設けられており、複数種のレチクルを保管しているレチクルストック 210 との間でレチクルの受け渡しは扉 177 を介して行う。

10 ケーシング 200 は、投影光学系 PL とウエハ W との間の空間を外部雰囲気から遮断しており、その内部に、ウエハ W を保持するウエハステージ 22、基板としてのウエハ W の表面の Z 方向の位置（フォーカス位置）や傾斜角を検出するための斜入射形式のオートフォーカスセンサ 26、オフ・アクシス方式のアライメントセンサ 28、ウエハステージ 22 を載置している定盤 23 を収納している。このケーシング 200 には、  
15 ウエハ W を搬入・搬出するための扉 203 が設けられており、この扉 203 の外側にはケーシング 200 内部の雰囲気汚染されるのを防ぐためのガス置換室 204 が設けられている。このガス置換室 204 には扉 207 が設けられており、装置内部へのウエハ W の搬入、装置外部への  
20 ウエハ W の搬出はこの扉 207 を介して行う。

ここで、ケーシング 40、150、170、200 のそれぞれには、給気弁 147、156、171、201 が設けられており、これらの給気弁 147、156、171、201 は図示なきガス供給装置に接続された給気管路に接続されている。また、ケーシング 40、150、170、200 のそれぞれには、排気弁 148、157、172、202 が  
25 設けられており、これらの排気弁 148、157、172、202 は、

それぞれ図示なき排気管路を介して上記ガス供給装置に接続されている。  
なお、ガス供給装置からの特定ガスは不図示の温度調整装置により所定の目標温度に制御されている。ここで、特定ガスとしてヘリウムを用いる場合には、温度調整装置は各ケーシングの近傍に配置されることが好ましい。

同様に、ガス置換室 174、204 にも給気弁 175、205 と排気弁 176、206 とが設けられており、給気弁 175、205 は給気管路を介して、排気弁 176、206 は排気管路を介してそれぞれ上記ガス供給装置に接続されている。さらに、投影光学系 PL の共同にも給気弁 181 及び排気弁 182 が設けられており、給気弁 181 は図示なき給気管路を介して、排気弁 182 は図示なき排気管路を介して上記ガス供給装置に接続されている。

なお、給気弁 147、156、171、175、181、201、205 が設けられた給気管路と、排気弁 148、157、172、176、182、202、206 が設けられた排気管路とには、HEPA フィルタあるいは ULPA フィルタ等の塵（パーティクル）を除去するためのフィルタと、酸素等の吸収性ガスを除去するケミカルフィルタとが設けられている。

なお、ガス置換室 174、204 においては、レチクル交換又はウエハ交換毎にガス置換を行う必要がある。例えば、レチクル交換の際には、扉 174 を開いてレチクルストッカ 210 からレチクルをガス置換室 174 内に搬入し、扉 174 を閉めてガス置換室 174 内を特定ガスで満たし、その後、扉 173 を開いて、レチクルをレチクルステージ RS 上に載置する。また、ウエハ交換の際には、扉 207 を開いてウエハをガス置換室 204 内に搬入し、この扉 207 を締めてガス置換室 204 内を特定ガスで満たす。その後、扉 203 を開いてウエハをウエハホルダ

20 上に載置する。なお、レチクル搬出、ウエハ搬出の場合はこの逆の手順である。なお、ガス置換室 174, 204 へのガス置換の際には、ガス置換室内の雰囲気減圧した後に、給気弁から特定ガスを供給しても良い。

- 5       また、ケーシング 170, 200 においては、ガス置換室 174, 204 によるガス置換を行った気体が混入する可能性があり、このガス置換室 174, 204 のガス中にはかなりの量の酸素などの吸収ガスが混入している可能性が高いため、ガス置換室 174, 204 のガス置換と同じタイミングでガス置換を行うことが望ましい。また、ケーシング及  
10       びガス置換室においては、外部雰囲気の圧力よりも高い圧力の特定ガスを充填しておくことが好ましい。

- また、図 5 では不図示ではあるが、本実施形態では、投影光学系 PL を構成する複数のレンズ素子のうちの少なくとも 1 つのレンズ素子は、その位置及び姿勢の少なくとも一方が変更可能であるように保持されて  
15       いる。これにより、投影光学系 PL の結像特性を変更可能である。このような調整手段は、例えば日本国特開平 4-192317 号公報、日本国特開平 4-127514 号公報（及び対応する米国特許第 5, 117, 255 号）、日本国特開平 5-41344 号公報、及び日本国特開平 6-84527 号公報（及び対応する米国特許第 5, 424, 552 号）  
20       に開示されている。

      本実施形態においては、位置及び姿勢の少なくとも一方が変更可能なレンズ素子のうちの少なくとも 1 つは、球面レンズであることが好ましい。

- なお、ArF エキシマレーザに最適化された第 2～第 7 実施例の投影  
25       光学系 PL は、日本国特開平 6-260386 号公報（米国特許第 5, 559, 584 号）、日本国特開平 11-233447 号公報、WO 9

8 / 5 7 2 1 3 号公報、WO 9 9 / 1 0 9 1 7 号公報、及びWO 9 9 /  
5 0 8 9 2 号公報等に開示された投影露光装置に適用することができる。

さて、本発明の投影露光装置においては、180 nm以下の波長域の  
露光光を供給する光源と、この光源からの露光光をその投影原版上のそ  
5 のパターンへ導く照明光学系と、その投影原版とそのワークとの間の光  
路中に配置されて、その投影原版を介したその露光光の光量の25%以  
上の光量をそのワークへ導いてそのパターンの縮小像をそのワーク上に  
形成する投影光学系と、を備えることが好ましい。

180 nm以下の波長域に対応した感光性樹脂（レジスト）材料とし  
10 ては、長波長のものに比べて感度を高めることが困難であり、投影光学  
系が投影原版からの露光光の25%以下の光量しかワークへ導かない場  
合、レジストへの必要露光量を確保するためには、露光時間の増大を図  
る必要があり、スループットの低下を招くため好ましくない。また、こ  
の場合、投影光学系に蓄積される熱が増大し、投影光学系の熱収差、す  
15 なわち投影光学系を熱を蓄積することによるレンズまたは気体の屈折率  
変動や屈折率分布の変動による収差が発生し、安定した結像性能のもと  
で投影露光を実現できなくなるため好ましくない。

図5の実施形態にかかる投影露光装置では、図1の実施例にかかる投  
影光学系PLを採用している。この投影光学系PLを構成する硝材は前  
20 述の通り螢石であり、157 nmの露光光に対する1 cm当たりの透過  
率は99～99.5%である。そして、157 nmの露光光に対する反  
射防止膜は、レンズ面1面当たりの光量損失が1%のものを用いている。  
図1の実施例の投影光学系を備えた図5の投影露光装置では、以上の値  
より、透過率が37%であり、上記条件を満足している。

25 さて、本発明による投影露光方法においては、投影原版に設けられた  
パターンの縮小像をワーク上へ投影露光する投影露光方法であって、2

0 0 nm以下の波長域の露光光を供給する工程と；照明光学系を介してこの光源からの露光光をその投影原版上のそのパターンへ導く工程と、その投影光学系を介してその投影原版からのその露光光をそのワークへ導きそのパターンの縮小像をそのワーク上に形成する工程と、その照明光学系へ入射するその露光光の光量をE n 1とし、その照明光学系からその投影原版へ向かうその露光光の光量をE n 2とし、その投影光学系へ入射するその露光光の光量をE n 3とし、その投影光学系からそのワークへ向かって射出するその露光光の光量をE n 4とすると、次の条件を満足することが好ましい。

$$\frac{E_{n4}}{E_{n3}} > \frac{E_{n2}}{E_{n1}} \quad \dots (6)$$

上記条件式(6)を満足しない場合には、照明光学系として必要な機能、例えばワーク上における均一照明など、を達成することが不可能になり、結果として微細な回路パターンをワーク上に転写できなくなるため好ましくない。

また、上述の投影露光方法において、その露光光をそのパターンへ導く工程は、その波長域の光に対する吸収の少ない特性を有するガス雰囲気気で満たされた空間にその露光光を通す補助工程を含むことが好ましく、そのパターンの縮小像をそのワーク上に形成する工程は、その波長域の光に対する吸収の少ない特性を有するガス雰囲気気で満たされた空間にその露光光を通す補助工程を含むことが好ましい。

次に、上記の実施の形態の投影露光装置を用いてウエハ上に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の動作の一例につき図6のフローチャートを参照して説明する。

まず、図6のステップ301において、1ロットのウエハ上に金属膜

が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、第1又は第2実施例のうち何れかの投影光学系PLを備えた図5の投影露光装置を用いて、レチクルR上のパターンの像がその投影光学系PLを介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウエハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、レチクルR上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。

上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

また、上記の実施の形態の投影露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図7のフローチャートを参照して、このときの動作の一例につき図7のフローチャートを参照して説明する。

図7において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてレチクルのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程20

2へ移行する。

次に、カラーフィルター形成工程402では、R (Red)、G (Green)、B (Blue)に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程  
5 402の後に、セル組み立て工程403が実行される。

セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程40  
10 1にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各  
15 部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。

上述の液晶表示素子製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

さて、上記図5の実施形態では、照明光学系中のオブティカルインテグレータ（ユニフォマイザ、ホモジナイザ）としてのフライアイレンズ  
20 43、46は、1枚の基板の上に複数の微少レンズ面をエッチング等の手法により形成したマイクロ・フライアイレンズであっても良い。また、第1フライアイレンズ43の代わりに、回折作用により入射光を発散させてそのファースフィールド（フラウンホーファー回折領域）において円形状、輪帯状、多重極状の照野を形成する回折光学素子を用いても良い。  
25 なお、このような回折光学素子としては例えば米国特許第5,850,300号公報に開示されているものを用いることができる。ここで、回

折光学素子を用いる場合には、光路遅延光学系 4 1 を省略しても良い。

また、オプティカルインテグレータとしては、内面反射型インテグ  
レータ（ロッド・インテグレータ、光パイプ、光トンネルなど）を用いる  
こともできる。このような内面反射型インテグレータを用いる場合には、  
5 内面反射型インテグレータの射出面とレチクルのパターン面とがほぼ共  
役となる。従って、上述の実施形態に適用する場合には、例えば内面反  
射型インテグレータの射出面に近接させて照明視野絞り（レチクルブラ  
インド） 1 1 を配置し、第 1 フライアイレンズ 4 3 の射出面と内面反射  
型インテグレータの入射面とをほぼ共役とするように、ズームレンズ 4  
10 4 を構成する。

また、露光光の波長として 1 8 0 n m 以下のものを用いる際には、照  
明光学系中のマイクロ・レンズ・アレイ、回折光学素子、内面反射型イ  
ンテグレータ、及びレンズ素子の少なくとも何れかを螢石、フッ素がド  
ープされた石英ガラス、フッ素及び水素がドープされた石英ガラス、構  
15 造決定温度が 1 2 0 0 K 以下で且つ水素分子濃度が  $1 \times 10^{17}$  molecule  
s/cm<sup>3</sup> 以上である石英ガラス、構造決定温度が 1 2 0 0 K 以下でかつ塩  
素濃度が 5 0 p p m 以下である石英ガラス、及び構造決定温度が 1 2 0  
0 K 以下で且つ水素分子濃度が  $1 \times 10^{17}$  molecules/cm<sup>3</sup> 以上で且つ塩  
素濃度が 5 0 p p m 以下である石英ガラスのグループから選択される材  
20 料で形成することが好ましい。また、露光波長が 1 8 0 n m ~ 2 0 0 n  
m の範囲内（例えば A r F エキシマレーザ）であれば、これらの材料の  
他に構造決定温度が 1 2 0 0 K 以下で且つ O H 基濃度が 1 0 0 0 p p m  
以上である石英ガラスも使用できる。

なお、構造決定温度が 1 2 0 0 K 以下で且つ O H 基濃度が 1 0 0 0 p  
25 p m 以上である石英ガラスについては、本願出願人による日本国特許第  
2 7 7 0 2 2 4 号公報に開示されており、構造決定温度が 1 2 0 0 K 以

下で且つ水素分子濃度が  $1 \times 10^{17}$  molecules/cm<sup>3</sup> 以上である石英ガラス、構造決定温度が 1200 K 以下でかつ塩素濃度が 50 ppm 以下である石英ガラス、及び構造決定温度が 1200 K 以下で且つ水素分子濃度が  $1 \times 10^{17}$  molecules/cm<sup>3</sup> 以上で且つ塩素濃度が 50 ppm 以下である石英ガラスについては本願出願人による日本国特許第 2936138 号公報に開示されている。

また、上記第 1 実施例にかかる投影光学系 PL では、投影光学系を構成する各レンズ素子を螢石で形成したが、投影光学系を構成する各レンズ素子は、フッ化カルシウム (CaF<sub>2</sub>、螢石)、フッ化バリウム (BaF<sub>2</sub>)、フッ化リチウム (LiF)、フッ化マグネシウム (MgF<sub>2</sub>)、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フッライド (LiCaAlF<sub>6</sub>)、リチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フッライド (LiSrAlF<sub>6</sub>)、及びフッ化ストロンチウム (SrF<sub>2</sub>) からなるグループから選択された少なくとも 1 種類の材料であることが好ましい。

また、上記図 5 の実施形態では第 1 実施例の投影光学系 PL の適用を考えて、レーザ光源として発振波長 157 nm のフッ素ダイマーレーザ (F<sub>2</sub> レーザ) を狭帯化したものを用いたが、本発明は F<sub>2</sub> レーザには限定されない。例えば、発振波長 193 nm の ArF エキシマレーザを狭帯化したものや発振波長 248 nm の KrF エキシマレーザを用いることもできる。

なお、波長 200 nm 以下の波長域では、レーザ光源の狭帯化を行うことが困難ではあるが、本発明を適用することによりレーザ光源の狭帯化の程度を緩和することができ、投影光学系の色消しの負担を削減することができる利点がある。

さらに、上述の実施形態では、光源として F<sub>2</sub> レーザを用いているが、その代わりに、157 nm に発振スペクトルを持つ YAG レーザなどの

固体レーザの高調波を用いるようにしても良い。また、D F B半導体レーザまたはファイバーレーザから発振される赤外域または可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム (E r) (またはエルビウムとイッテルビウム (Y b) との両方) がドーブされたファイバーアンプで増幅  
5 し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

例えば、単一波長レーザ光の発振波長を  $1.51 \sim 1.59 \mu\text{m}$  の範囲内とすると、発生波長が  $151 \sim 159 \text{ nm}$  の範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を  $1.57 \sim 1.58 \mu\text{m}$  の範囲内と  
10 すると、発生波長が  $157 \sim 158 \text{ nm}$  の範囲内の10倍高調波、すなわちF<sub>2</sub>レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。また、発振波長を  $1.03 \sim 1.12 \mu\text{m}$  の範囲内とすると、発生波長が  $147 \sim 160 \text{ nm}$  の範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を  $1.099 \sim 1.106 \mu\text{m}$  の範囲内とすると、発生波長が  $157 \sim 158$   
15  $\mu\text{m}$  の範囲内の7倍高調波、すなわちF<sub>2</sub>レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。なお、単一波長発振レーザとしては、イットリビウム・ドーブ・ファイバーレーザを用いる。

このように、レーザ光源からの高調波を使用する場合には、この高調波自体が十分に狭いスペクトル幅 (例えば  $0.3 \text{ pm}$  以下) であるので、  
20 上述の光源2の代わりに用いることができる。

また、第1実施例では、単一の種類の材料を用いて投影光学系を構成したが、材料の種類は単一には限られない。第2実施例に示すように、遠紫外域に近い真空紫外域や遠紫外域の露光光を前提にすれば、材料として合成石英及び螢石を用いることができ、真空紫外域の露光光を前提  
25 にすれば、材料として、フッ化カルシウム (C a F<sub>2</sub>, 螢石)、フッ化バリウム (B a F<sub>2</sub>)、フッ化リチウム (L i F)、フッ化マグネシウム

( $\text{MgF}_2$ )、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フッライド ( $\text{LiCaAlF}_6$ )、リチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フッライド ( $\text{LiSrAlF}_6$ )、及びフッ化ストロンチウム ( $\text{SrF}_2$ ) からなるグループから選択された少なくとも2種類の材料を用いることができる。また、投影光学系に回折光学素子を加えて、回折光学素子による色収差補正効果も併せて利用しても良い。

また、図5の実施形態において、第1フライアイレンズ43の入射側に、スペックル防止のための複屈折性材料からなるプリズムを配置しても良い。このようなスペックル防止用のプリズムとしては、例えば米国特許第5, 253, 110号に開示されている。なお、露光波長として180 nm以下の波長の光を用いる場合、米国特許第5, 253, 110号公報に開示されている水晶プリズムに代えて、フッ化マグネシウム ( $\text{MgF}_2$ ) の結晶からなるプリズムを用いることができる。

このフッ化マグネシウムの結晶からなるくさび型プリズムは、照明光学系の光軸に交差する方向で厚さが次第に変化するように配置される。そして、このフッ化マグネシウムの結晶からなるくさび型プリズムに対向して、それらの頂角が互いに反対側を向くように光路補正用くさび型プリズムを配置する。この光路補正用くさび型プリズムは、当該フッ化マグネシウムの結晶からなるプリズムと同じ頂角を有し、複屈折性を有しない光透過性材料からなる。これにより、プリズムの対に入射した光と、そこから射出する光とを同一進行方向にそろえることができる。

光路補正用プリズムの材料としては、例えば螢石、フッ素をドーブした石英ガラス、フッ素及び水素がドーブされた石英ガラス、構造決定温度が1200 K以下で且つOH基濃度が1000 ppm以上である石英ガラス、構造決定温度が1200 K以下で且つ水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$  molecules/cm<sup>3</sup> 以上である石英ガラス、構造決定温度が1200 K以

下でかつ塩素濃度が50 ppm以下である石英ガラス、及び構造決定温度が1200 K以下で且つ水素分子濃度が $1 \times 10^{17}$  molecules/cm<sup>3</sup>以上で且つ塩素濃度が50 ppm以下である石英ガラスのグループから選択される材料で形成することが好ましい。

- 5       また、図5の実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式を採用したが、実施形態の露光装置をステッチング及びスリットスキャン型の露光装置としても良い。ステッチング及びスリットスキャン方式を採用する場合、レチクル上の所定形状の照明領域に対して相対的に所定の第1の方向にレチクル及び基板を同期して走査することにより、基板  
10       上の第1列目の領域への露光が行われる。その後、そのレチクルを交換するか、又はそのレチクルを上記照明領域の第1の方向と直交する第2の方向に沿って所定量だけ移動させて、基板を照明領域の第2の方向と共役な方向に横ずれさせる。そして、再びレチクル上の所定形状の照明領域に対して相対的に第1の方向にレチクル及び基板を同期して走査す  
15       ることにより、基板上の第2列目の領域への露光を行う。

- このようなステッチング及びスリットスキャン型の露光装置では、投影光学系の露光フィールドよりも広い基板上の領域にレチクルのパターンを露光することができる。なお、このようなステッチング及びスリットスキャン型の露光装置は、米国特許第5,477,304号、日本国特開平8-330220号公報、日本国特開平10-284408  
20       号公報などに開示されている。

      なお、上記実施形態では、基板上の所定のショット領域に対してレチクル上のパターン像を一括転写する一括露光方式も採用することができる。

- 25       また、図5の実施形態では、ワーク（感光性基板）としてのウエハを保持するウエハステージを1つ設けたが、例えば日本国特開平5-17

5 0 9 8 号公報、日本国特開平 1 0 - 1 6 3 0 9 7 号公報、日本国特開平 1 0 - 1 6 3 0 9 8 号公報、日本国特開平 1 0 - 1 6 3 0 9 9 号公報、または日本国特開平 1 0 - 2 1 4 7 8 3 号公報などに開示されるように、2 組のウエハステージを設ける構成であっても良い。

- 5       さらに、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、  
10       撮像素子（CCD など）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。また、レチクルまたはマスクを製造するためにガラス基板またはシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも、本発明を適用することができる。

- 以上の通り、本発明は前述した実施形態に限られず種々の構成をとり得る。また、それぞれ明細書、請求の範囲、図面、及び要約を含む 1 9  
15       9 9 年 9 月 2 9 日付提出の国際出願 P C T / J P 9 9 / 0 5 3 2 9 号、及び 1 9 9 9 年 1 1 月 1 6 日付提出の国際出願 P C T / J P 9 9 / 0 6 3 8 7 号の全ての開示内容は、そっくりそのまま引用してここに組み込まれている。

## 20       産業上の利用の可能性

      以上説明したように、本発明の投影光学系によれば、投影光学系の色収差を抑え、光源への負担を低減させることができる。また、単一種類の硝材、或いは少数の色補正用硝材の追加により、ある程度のスペクトル幅を有する露光光に対する色収差補正を行うことができる。

- 25       また、本発明による投影露光装置及び方法によれば、投影光学系の構成の簡素化を図りつつも、極めて微細化されたマイクロデバイスの回路

パターンを得ることができる。

また、本発明によるデバイス製造方法によれば、極めて微細化されたマイクロデバイスの回路パターンを、スループットを低下させずに得ることができる。

5

10

15

20

25

## 請 求 の 範 囲

1. 第1面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用により第2面上に結像させる屈折型の投影光学系において、

5 前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置されて、正の屈折力を有する前レンズ群と；

前記前レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置されて、正の屈折力を有する後レンズ群と；

前記前レンズ群の後側焦点位置近傍に配置された開口絞りと；を有し、

10 前記投影光学系は、前記第1面及び前記第2面側がテレセントリックであり、

前記後レンズ群の焦点距離を  $f_2$  とし、前記第1面から前記第2面までの距離を  $L$  とするとき、次の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

15  $0.065 < f_2 / L < 0.125$

2. 前記投影光学系は、少なくとも1つの非球面形状のレンズ面を有することを特徴とする請求の範囲1記載の投影光学系。

3. 前記投影光学系に含まれる屈折力を持つレンズを前記第1面側から順に6個選択したときに、該6個のレンズの少なくとも一面が負の屈折力を持つ非球面形状であることを特徴とする請求の範囲2記載の投影光学系。

4. 前記前レンズ群は、第1面側より順に、負屈折力の第1レンズ群、正屈折力の第2レンズ群、負屈折力の第3レンズ群、及び正屈折力の第4レンズ群を有し、

25 前記第1レンズ群及び前記第2レンズ群の合成横倍率を  $\beta_1$  とし、前記第1面から前記第2レンズ群の最も前記第2面側のレンズ面までの距

離を  $L_1$ 、前記第 1 面から前記第 2 面までの距離を  $L$  とするとき、次の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 1、2、又は 3 記載の投影光学系。

$$-1.3 < 1/\beta_1 < 0 \quad \text{及び}$$

$$0.08 < L_1/L < 0.17$$

5 5. 前記第 1 及び第 2 レンズ群は、少なくとも 2 つの非球面形状のレンズ面を含み、かつ 10 枚以下のレンズを有することを特徴とする請求の範囲 4 記載の投影光学系。

10 6. 前記前レンズ群は、第 1 面側より順に、負屈折力の第 1 レンズ群、正屈折力の第 2 レンズ群、負屈折力の第 3 レンズ群、及び正屈折力の第 4 レンズ群を有することを特徴とする請求の範囲 1～5 の何れか一項記載の投影光学系。

15 7. 前記投影光学系の光路中に配置される光透過性屈折部材の光軸に沿った厚さの総和を  $C$  とし、前記第 1 面から前記第 2 面までの距離を  $L$  とするとき、次の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 4～6 の何れか一項記載の投影光学系。

$$0.46 < C/L < 0.64$$

20 8. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材のうち屈折力を有する部材の数の総和を  $E$  とし、非球面形状のレンズ面が設けられた部材の数の総和を  $E_a$  とするとき、次の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 1～7 の何れか一項記載の投影光学系。

$$0.15 < E_a/E < 0.7$$

9. 前記屈折力を有する部材の総和は 1.6 以上であることを特徴とする請求の範囲 8 記載の投影光学系。

25 10. 前記屈折力を有する部材の総和は 2.6 以下であることを特徴とする請求の範囲 8 又は 9 記載の投影光学系。

1 1. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材は、単一種類の材料から形成されることを特徴とする請求の範囲 8、9、又は 10 記載の投影光学系。

1 2. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材は、第 1 の材料から形成された第 1 の光透過性屈折部材と、第 2 の材料から形成された第 2 の光透過性屈折部材とを有し、

前記光透過性屈折部材のうちの屈折力を有する部材の数に対する前記第 2 の光透過性屈折部材の数は、32%以下であることを特徴とする請求の範囲 8～11 の何れか一項記載の投影光学系。

10 1 3. 前記投影光学系は、前記第 1 面上の前記パターンの縮小像を前記第 2 面上に形成することを特徴とする請求の範囲 1～12 の何れか一項記載の投影光学系。

1 4. 前記開口絞りは、前記前レンズ群と前記後レンズ群との間の光路中に配置されることを特徴とする請求の範囲 1～13 の何れか一項記載の投影光学系。

1 5. 第 1 面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用により第 2 面上に結像させる屈折型の投影光学系の製造方法において、

正の屈折力を有する前レンズ群を配置する工程と；

20 該前レンズ群と前記第 2 面との間に、正の屈折力を有する後レンズ群を配置する工程と；

前記前レンズ群と前記後レンズ群との間に、開口絞りを配置する工程と；を含み、

前記前レンズ群、前記後レンズ群、及び前記開口絞りは、前記第 1 面及び前記第 2 面側がテレセントリックであるように配置し、

25 前記後レンズ群の焦点距離を  $f_2$  とし、前記第 1 面から前記第 2 面までの距離を  $l$  とするとき、次の条件を満足するものを用いることを特徴

とする投影光学系の製造方法。

$$0.065 < f_2 / L < 0.125$$

16. 第1面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用により第2面上に結像させる屈折型の投影光学系において、

5 屈折力を持つ3個以上のレンズを有し、

前記屈折力を持つレンズを前記第1面側から順に3個選択したときに、該3個のレンズの少なくとも一面が負の屈折力を持つ非球面形状であることを特徴とする投影光学系。

10 17. 第1面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用により第2面上に結像させる屈折型の投影光学系において、

屈折力を持つ複数個のレンズを有し、

前記屈折力を持つレンズを前記第1面から順に2個選択したときに、該2個のレンズの少なくとも一面が非球面であり、該非球面の光軸中心付近のローカル主曲率を $C_a$ 、該非球面のレンズ有効径最周辺部のメリ  
15 ジオナル方向のローカル主曲率を $C_b$ とすると、

前記非球面が負の屈折力を有する場合に、次の条件

$$C_b / C_a < 0.7$$

が成立し、前記非球面が正の屈折力を有する場合に、次の条件

$$C_b / C_a > 1.6$$

20 が成立することを特徴とする投影光学系。

18. 第1面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用により第2面上に結像させる屈折型の投影光学系において、

屈折力を持つ4個以上のレンズを有し、

25 前記屈折力を持つレンズを前記第1面から順に4個選択したときに、該4個のレンズの少なくとも一面が非球面であり、該非球面の光軸中心付近のローカル主曲率を $C_a$ 、該非球面のレンズ有効径最周辺部のメリ

ジオナル方向のローカル主曲率を  $C_b$  とするとき、

前記非球面が負の屈折力を有する場合に、次の条件

$$C_b / C_a < 0.45$$

が成立し、前記非球面が正の屈折力を有する場合に、次の条件

5  $C_b / C_a > 2.3$

が成立することを特徴とする投影光学系。

19. 第1面上のパターンの像を光透過性屈折部材的作用により第2面上に結像させる屈折型の投影光学系の製造方法において、

屈折力を持つ4個以上のレンズを配置する工程を有し、

10 前記屈折力を持つレンズを前記第1面から順に4個選択したときに、  
該4個のレンズの少なくとも一面が非球面であり、該非球面の光軸中心  
付近のローカル主曲率を  $C_a$ 、該非球面のレンズ有効径最周辺部のメリ  
ジオナル方向のローカル主曲率を  $C_b$  とするとき、

前記非球面が負の屈折力を有する場合に、次の条件

15  $C_b / C_a < 0.45$

が成立し、前記非球面が正の屈折力を有する場合に、次の条件

$$C_b / C_a > 2.3$$

が成立するように前記非球面を選択することを特徴とする投影光学系の製造方法。

20 20. 第1面上のパターンの縮小像を第2面上に結像させる投影光学系  
において、

第1面側より順に、

負の屈折力を有する第1レンズ群；

正の屈折力を有する第2レンズ群；

25 負の屈折力を有する第3レンズ群；

正の屈折力を有する第4レンズ群；

開口絞り；

及び正の屈折力を有する第5レンズ群；を有し、

前記第1レンズ群及び前記第2レンズ群の合成横倍率を $\beta 1$ とし、前記第1面から前記第2レンズ群の最も前記第2面側のレンズ面までの距離を $L 1$ 、前記第1面から前記第2面までの距離を $L$ とすると、次の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

$$-1.3 < 1/\beta 1 < 0 \quad \text{及び}$$

$$0.08 < L 1/L < 0.17$$

21. 前記投影光学系に含まれる屈折力を持つレンズを前記第1面側から順に6個選択したときに、該6個のレンズの少なくとも一面が負の屈折力を持つ非球面形状であることを特徴とする請求の範囲20記載の投影光学系。

22. 前記第1及び第2レンズ群は、少なくとも2つの非球面形状のレンズ面を含み、かつ10枚以下のレンズを有することを特徴とする請求の範囲20又は21記載の投影光学系。

23. 前記投影光学系の光路中に配置される光透過性屈折部材の光軸に沿った厚さの総和を $C$ とし、前記第1面から前記第2面までの距離を $L$ とすると、次の条件を満足することを特徴とする請求の範囲20、21、又は22記載の投影光学系。

$$0.46 < C/L < 0.64$$

24. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材のうち屈折力を有する部材の数の総和を $E$ とし、非球面形状のレンズ面が設けられた部材の数の総和を $E a$ とすると、次の条件を満足することを特徴とする請求の範囲20～23の何れか一項記載の投影光学系。

$$0.15 < E a/E < 0.7$$

25. 前記屈折力を有する部材の総和は1.6以上であることを特徴とす

る請求の範囲 2 4 記載の投影光学系。

2 6. 前記屈折力を有する部材の総和は 2 6 以下であることを特徴とする請求の範囲 2 4 又は 2 5 記載の投影光学系。

2 7. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材は、単一種類の材料から形成されることを特徴とする請求の範囲 2 4、2 5、又は 2 6 記載の投影光学系。

2 8. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材は、第 1 の材料から形成された第 1 の光透過性屈折部材と、第 2 の材料から形成された第 2 の光透過性屈折部材とを有し、

10 前記光透過性屈折部材のうちの屈折力を有する部材の数に対する前記第 2 の光透過性屈折部材の数は、3 2 % 以下であることを特徴とする請求の範囲 2 4、2 5、又は 2 6 記載の投影光学系。

2 9. 前記投影光学系に対して前記第 2 面側から前記投影光学系の光軸と平行な光線を入射させた場合、該光線が前記第 1 面側へ射出されるときの前記光軸となす角度は、5 0 分以下であることを特徴とする請求の  
15 範囲 2 0 ~ 2 8 の何れか一項記載の投影光学系。

3 0. 前記第 5 レンズ群の焦点距離を  $f_2$  とし、前記第 1 面から前記第 2 面までの距離を  $L$  とするとき、次の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 2 0 ~ 2 8 の何れか一項記載の投影光学系。

20  $0.065 < f_2 / L < 0.125$

3 1. 第 1 面上のパターンの縮小像を第 2 面上に結像させる投影光学系の製造方法において、

負の屈折力を有する第 1 レンズ群を準備する工程と；

正の屈折力を有する第 2 レンズ群を準備する工程と；

25 負の屈折力を有する第 3 レンズ群を準備する工程と；

正の屈折力を有する第 4 レンズ群を準備する工程と；

開口絞りを準備する工程と；

正の屈折力を有する第5レンズ群を準備する工程と；

前記第1面側より順に、前記第1レンズ群、前記第2レンズ群、前記第3レンズ群、前記第4レンズ群、前記開口絞り、及び前記第5レンズ群の順に配置する工程と；を含み、

前記第1第1レンズ群及び前記第2レンズ群の合成横倍率を $\beta_1$ とし、前記第1面から前記第2レンズ群の最も前記第2面側のレンズ面までの距離を $L_1$ 、前記第1面から前記第2面までの距離を $L$ とすると、次の条件を満足するように前記第1及び第2レンズ群を準備し、

$$-1.3 < 1/\beta_1 < 0$$

次の条件を満足するように前記第1及び第2レンズ群を配置することを特徴とする投影光学系の製造方法。

$$0.08 < L_1/L < 0.17$$

32. 第1面上のパターンの縮小像を第2面上に結像させる投影光学系において、

前記投影光学系の光路中に配置される少なくとも1つの光透過性屈折部材を含み、

前記投影光学系の光路中に配置される光透過性屈折部材の光軸に沿った厚さの総和を $C$ とし、前記第1面から前記第2面までの距離を $L$ とすると、次の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

$$0.46 < C/L < 0.64$$

33. 前記光透過性部材のうちの屈折力を有する部材の総和は1.6以上であることを特徴とする請求の範囲32記載の投影光学系。

34. 前記光透過性部材のうちの屈折力を有する部材の総和は2.6以下であることを特徴とする請求の範囲32又は33記載の投影光学系。

35. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材は、単一種類の材料から形

成されることを特徴とする請求の範囲 3 2、3 3、又は 3 4 記載の投影光学系。

3 6. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材は、第 1 の材料から形成された第 1 の光透過性屈折部材と、第 2 の材料から形成された第 2 の光透過性屈折部材とを有し、

前記光透過性屈折部材のうちの屈折力を有する部材の数に対する前記第 2 の光透過性屈折部材の数は、3 2 % 以下であることを特徴とする請求の範囲 3 2、3 3、又は 3 4 の何れか一項記載の投影光学系。

3 7. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材のうち屈折力を有する部材の数の総和を  $E$  とし、非球面形状のレンズ面が設けられた部材の数の総和を  $E_a$  とするとき、次の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 3 2 ~ 3 6 の何れか一項記載の投影光学系。

$$0.15 < E_a / E < 0.7$$

3 8. 前記投影光学系は、第 1 面側から順に、  
 負屈折力を有する第 1 レンズ群と；  
 正屈折力を有する第 2 レンズ群と；  
 負屈折力を有する第 3 レンズ群と；  
 正屈折力を有する第 4 レンズ群と；  
 開口絞りと；  
 正屈折力を有する第 5 レンズ群と；を備えることを特徴とする請求の範囲 3 2 ~ 3 7 の何れか一項記載の投影光学系。

3 9. 前記第 5 レンズ群の焦点距離を  $f_2$  とし、前記第 1 面から前記第 2 面までの距離を  $L$  とするとき、次の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 3 8 記載の投影光学系。

$$0.065 < f_2 / L < 0.125$$

4 0. 前記第 1 レンズ群及び前記第 2 レンズ群の合成横倍率を  $\beta_1$  とし、

前記第 1 面から前記第 2 レンズ群の最も前記第 2 面側のレンズ面までの距離を  $L_1$ 、前記第 1 面から前記第 2 面までの距離を  $L$  とするとき、次の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 38 又は 39 記載の投影光学系。

5         $-1.3 < 1/\beta_1 < 0$  及び  
          $0.08 < L_1/L < 0.17$

41. 前記投影光学系に対して前記第 2 面側から前記投影光学系の光軸と平行な光線を入射させた場合、該光線が前記第 1 面側へ射出されるときの前記光軸となす角度は、50 分以下であることを特徴とする請求の  
10        範囲 32～37 の何れか一項記載の投影光学系。

42. 第 1 面上のパターンの縮小像を第 2 面上に結像させる投影光学系の製造方法において、

         少なくとも 1 つの光透過性部材を準備する工程と；

         前記投影光学系の光路中に沿って少なくとも 1 つの前記光透過性部材  
15        を配置する工程と；を含み、

         前記投影光学系の光路中に配置される光透過性屈折部材の光軸に沿った厚さの総和を  $C$  とし、前記第 1 面から前記第 2 面までの距離を  $L$  とするとき、次の条件を満足するように前記光透過性部材を準備することを特徴とする投影光学系の製造方法。

20         $0.46 < C/L < 0.64$

43. 第 1 面上のパターンの縮小像を第 2 面上に結像させる投影光学系において、

         少なくとも 3 面以上の非球面形状のレンズ面を有し、

         前記投影光学系中の光透過性屈折部材のうち屈折力を有する部材の数の総和を  $E$  とし、非球面形状のレンズ面が設けられた部材の数の総和を  
25         $E_a$  とするとき、次の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

$$0.15 < E_a / E < 0.7$$

4 4. 前記屈折力を有する部材の総和は 1.6 以上であることを特徴とする請求の範囲 4 3 記載の投影光学系。

5 4 5. 前記屈折力を有する部材の総和は 2.6 以下であることを特徴とする請求の範囲 4 3 又は 4 4 記載の投影光学系。

4 6. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材は、単一種類の材料から形成されることを特徴とする請求の範囲 4 3、4 4、又は 4 5 記載の投影光学系。

10 4 7. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材は、第 1 の材料から形成された第 1 の光透過性屈折部材と、第 2 の材料から形成された第 2 の光透過性屈折部材とを有し、

前記光透過性屈折部材のうちの屈折力を有する部材の数に対する前記第 2 の光透過性屈折部材の数は、3.2 % 以下であることを特徴とする請求の範囲 4 3、4 4、又は 4 5 記載の投影光学系。

15 4 8. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材は、第 1 の材料から形成された第 1 の光透過性屈折部材と、第 2 の材料から形成された第 2 の光透過性屈折部材とを有し、

20 前記光透過性屈折部材のうちの屈折力を有する部材の数に対する前記第 2 の光透過性屈折部材の数は、1.6 % 以下であることを特徴とする請求の範囲 4 3、4 4、又は 4 5 記載の投影光学系。

4 9. 前記投影光学系中の光透過性屈折部材は、第 1 の材料から形成された第 1 の光透過性屈折部材と、第 2 の材料から形成された第 2 の光透過性屈折部材とを有し、

25 前記光透過性屈折部材のうちの屈折力を有する部材の数に対する前記第 2 の光透過性屈折部材の数は、1.1 % 以下であることを特徴とする請求の範囲 4 3、4 4、又は 4 5 記載の投影光学系。

50. 前記投影光学系の光路中に配置される光透過性屈折部材の光軸に沿った厚さの総和をCとし、前記第1面から前記第2面までの距離をLとすると、次の条件を満足することを特徴とする請求の範囲43～49の何れか一項記載の投影光学系。

5       $0.46 < C/L < 0.64$

51. 前記投影光学系は、開口絞りと、該開口絞りと前記第2面との間に配置されたレンズ群とを含み、

該レンズ群の焦点距離をf2とし、前記第1面から前記第2面までの距離をLとすると、次の条件を満足することを特徴とする請求の範囲

10      43～50の何れか一項記載の投影光学系。

$0.065 < f2/L < 0.125$

52. 前記投影光学系は、

負屈折力を有する第1レンズ群と；

該第1レンズ群と前記第2面との間に配置されて正の屈折力を有する

15      第2レンズ群と；

該第2レンズ群と前記第2面との間に配置されて負の屈折力を有する第3レンズ群と；

該第3レンズ群と前記第2面との間に配置されて正の屈折力を有する第4レンズ群と；

20      該第4レンズ群と前記第2面との間に配置された開口絞りと；

該開口絞りと前記第2面との間に配置されて正の屈折力を有する第5レンズ群と；を備えることを特徴とする請求の範囲43～51の何れか一項記載の投影光学系。

53. 前記第1レンズ群及び前記第2レンズ群の合成横倍率を $\beta 1$ とし、  
25      前記第1面から前記第2レンズ群の最も前記第2面側のレンズ面までの距離をL1、前記第1面から前記第2面までの距離をLとすると、次

の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 5 2 記載の投影光学系。

− 1.  $3 < 1/\beta < 0$  及び

0.  $0.8 < L_1/L < 0.17$

5 4. 前記投影光学系に対して前記第 2 面側から前記投影光学系の光軸  
5 と平行な光線を入射させた場合、該光線が前記第 1 面側へ射出されるとき  
の  
の前記光軸となす角度は、50 分以下であることを特徴とする請求の  
範囲 4 3 ~ 5 0 の何れか一項記載の投影光学系。

5 5. 前記投影光学系中の前記光透過性屈折部材のうち、前記非球面形  
状のレンズ面が設けられていない部材のうちの少なくとも一つは、位置  
10 及び姿勢のうちの少なくとも一方が変更可能に配置されることを特徴と  
する請求の範囲 4 3 ~ 5 4 の何れか一項記載の投影光学系。

5 6. 第 1 面上のパターンの縮小像を第 2 面上に結像させる投影光学系  
の製造方法において、

光透過性屈折部材が有するレンズ面のうち、少なくとも 3 面以上が非  
15 球面形状となるように、且つ前記光透過性屈折部材のうち屈折力を有す  
る部材の数の総和を E とし、非球面形状のレンズ面が設けられた部材の  
数の総和を E a とするとき、次の条件を満足するように前記光透過性部  
材を準備する工程と；

0.  $0.15 < E a/E < 0.7$

20 該光透過性部材を組み上げる工程と；を有することを特徴とする投影  
光学系の製造方法。

5 7. 投影原版に設けられたパターンの縮小像をワーク上へ投影露光す  
る投影露光装置において、

露光光を供給する光源と；

25 該光源からの露光光を前記投影原版上の前記パターンへ導く照明光学  
系と；

請求の範囲 1 ～ 5 6 の何れか一項記載の投影光学系と；を備え、

前記投影光学系の前記第 1 面に前記投影原版を配置可能とし、前記第 2 面に前記ワークを配置可能としたことを特徴とする投影露光装置。

5 5 8. 投影原版に設けられたパターンの縮小像をワーク上で走査させつつ投影露光する投影露光装置において、

露光光を供給する光源と；

該光源からの露光光を前記投影原版上の前記パターンへ導く照明光学系と；

請求の範囲 1 ～ 5 6 の何れか一項記載の投影光学系と；

10 前記投影光学系の前記第 1 面に前記投影原版を配置可能とするための第 1 ステージと；

前記第 2 面に前記ワークを配置可能とするための第 2 ステージと；を備え、

15 前記第 1 及び第 2 ステージは、前記投影光学系の投影倍率に対応した速度比で移動可能であることを特徴とする投影露光装置。

5 9. 前記光源は 1 8 0 n m 以下の波長域の露光光を供給し、前記投影光学系は、前記投影原版からの露光光の光量の 2 5 % 以上の光量を前記ワークへ導くことを特徴とする請求の範囲 5 7 又は 5 8 記載の投影露光装置。

20 6 0. 投影原版に設けられたパターンの縮小像をワーク上へ投影露光する投影露光装置において、

1 8 0 n m 以下の波長域の露光光を供給する光源と；

該光源からの露光光を前記投影原版上の前記パターンへ導く照明光学系と；

25 前記投影原版と前記ワークとの間の光路中に配置されて、前記投影原版を介した前記露光光の光量の 2 5 % 以上の光量を前記ワークへ導いて

前記パターンの縮小像を前記ワーク上に形成する投影光学系と；を備えることを特徴とする投影露光装置。

6 1. 前記投影原版を保持する第 1 ステージと、前記ワークを保持する第 2 ステージとをさらに含み、

5 前記第 1 及び第 2 ステージは、前記投影光学系の投影倍率に対応した速度比で移動可能であることを特徴とする請求の範囲 6 0 記載の投影露光装置。

6 2. 投影原版に設けられたパターンの縮小像をワーク上へ投影露光する投影露光装置において、

10 2 0 0 nm以下の波長域の露光光を供給する光源と；

該光源からの露光光を前記投影原版上の前記パターンへ導く照明光学系と；

前記投影原版と前記ワークとの間の光路中に配置されて、前記投影原版を介した前記露光光を前記ワークへ導いて前記パターンの縮小像を前記ワーク上に形成する投影光学系と；を備え、

15 前記光源から前記照明光学系へ向かう前記露光光の光量を  $E_{n1}$  とし、前記照明光学系から前記投影原版へ向かう前記露光光の光量を  $E_{n2}$  とし、前記投影光学系へ入射する前記露光量の光量を  $E_{n3}$  とし、前記投影光学系から前記ワークへ向かって射出する前記露光光の光量を  $E_{n4}$  とするとき、次の条件を満足することを特徴とする投影露光装置。

$$\frac{E_{n4}}{E_{n3}} > \frac{E_{n2}}{E_{n1}}$$

6 3. 投影原版上に形成されるパターンをワーク上へ投影露光する投影露光方法において、

25 請求の範囲 5 7、5 8、又は 5 9 記載の投影露光装置を用い、

前記投影原版を前記第 1 面に配置すると共に、前記ワークを前記第 2

面に配置し、

前記投影光学系を介して前記パターンの像を前記ワーク上に形成することを特徴とする露光方法。

- 6 4. 投影原版に設けられたパターンの縮小像をワーク上へ投影露光する投影露光方法において、

2 0 0 n m以下の波長域の露光光を供給する工程と；

照明光学系を介して該光源からの露光光を前記投影原版上の前記パターンへ導く工程と；

- 前記投影光学系を介して前記投影原版からの前記露光光を前記ワークへ導き前記パターンの縮小像を前記ワーク上に形成する工程と；を有し、  
前記照明光学系へ入射する前記露光光の光量を  $E_{n1}$  とし、前記照明光学系から前記投影原版へ向かう前記露光光の光量を  $E_{n2}$  とし、前記投影光学系へ入射する前記露光量の光量を  $E_{n3}$  とし、前記投影光学系から前記ワークへ向かって射出する前記露光光の光量を  $E_{n4}$  とするとき、  
次の条件を満足することを特徴とする投影露光方法。

$$\frac{E_{n4}}{E_{n3}} > \frac{E_{n2}}{E_{n1}}$$

- 6 5. 前記露光光を前記パターンへ導く工程は、前記波長域の光に対する吸収の少ない特性を有するガス雰囲気で満たされた空間に前記露光光を通す補助工程を含み、

前記パターンの縮小像を前記ワーク上に形成する工程は、前記波長域の光に対する吸収の少ない特性を有するガス雰囲気で満たされた空間に前記露光光を通す補助工程を含むことを特徴とする請求の範囲 6 4 記載の投影露光方法。

- 6 6. 所定の回路パターンを有するマイクロデバイスの製造方法において、

請求の範囲 6 3、6 4、又は 6 5 記載の投影露光方法を用いて前記ワーク上に前記パターンの像を投影露光する工程と；

該投影露光された前記ワークを現像処理する工程と；を含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

5

6 7. 投影原版上のパターンをワーク上に投影露光する投影露光装置において、

200 nm以下の波長の露光光を前記投影原版へ供給する照明光学系と；

10 前記投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとで前記ワーク上に形成する投影光学系と；を備え、

前記投影光学系は、開口絞りと、該開口絞りと前記投影原版との間に配置された前レンズ群と、前記開口絞りと前記ワークとの間に配置された後レンズ群とを有し、

15 前記投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をディスク材に換算した量を $y$  (kg)、前記後レンズ群の焦点距離を $f_2$  (mm)、前記投影光学系の像側の最大開口数を $NA_w$ とし、

$$x = f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot NA_w^2$$

とするとき、以下の条件式を満足することを特徴とする投影露光装置。

20  $y \leq 4x - 200$ ,

$$y \leq (4x / 13) + (1000 / 13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$y \geq 0$$

6 8. 前記最大開口数 $NA_w$ 、及び螢石の量 $y$ について、

25  $NA_w > 0.72$  及び

$$y < 75$$

の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 6 7 記載の投影露光装置。

6 9. 前記投影光学系の後レンズ群の焦点距離  $f_2$  及び最大開口数  $NA_w$  は、

$$110 < f_2 / NA_w < 200$$

5 の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 6 7 記載の投影露光装置。

7 0. 前記照明光学系は、0.5  $\mu m$  以下の半値全幅の光を供給することを特徴とする請求の範囲 6 7 記載の投影露光装置。

7 1. 前記投影光学系中の非球面の数を  $A$  として、前記投影光学系は以下の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 6 7 記載の投影露光装

10 置。

$$0 \leq y < 40 \quad \text{及び}$$

$$2 \leq A$$

7 2. 前記投影光学系中の非球面の数を  $A$  として、前記投影光学系は以下の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 7 0 記載の投影露光装

15 置。

$$0 \leq y < 40 \quad \text{及び}$$

$$2 \leq A$$

7 3. 前記投影光学系中の非球面の数を  $A$  として、前記投影光学系は以下の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 6 7 記載の投影露光装

20 置。

$$40 \leq y < 70 \quad \text{及び}$$

$$1 \leq A \leq 5$$

7 4. 前記投影光学系中の非球面の数を  $A$  として、前記投影光学系は以下の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 7 0 記載の投影露光装

25 置。

$$40 \leq y < 70 \quad \text{及び}$$

$$1 \leq A \leq 5$$

75. 前記照明光学系は、200 nm以下で170 nm以上の波長の光を供給することを特徴とする請求の範囲67～74の何れか一項記載の投影露光装置。

- 5 76. 前記投影光学系は、直径20 mm以上の像側視野を有することを特徴とする請求の範囲67～74の何れか一項記載の投影露光装置。

77. 前記投影光学系の像側の最大開口数NAwは以下の条件を満足することを特徴とする請求の範囲67、69～74の何れか一項記載の投影露光装置。

10  $NAw \geq 0.65$

78. 前記投影光学系は一つ又は複数個の非球面を有し、かつ該非球面は前記螢石とは異なる材料からなるレンズのレンズ面に設けられることを特徴とする請求の範囲67～74の何れか一項記載の投影露光装置。

- 15 79. 前記非球面は石英ガラスからなるレンズのレンズ面に設けられることを特徴とする請求の範囲78記載の投影露光装置。

80. 前記前レンズ群、前記開口絞り、及び前記後レンズ群は、直線状に延びた光軸に沿って配置されることを特徴とする請求の範囲67～74の何れか一項記載の投影露光装置。

- 20 81. 前記投影光学系は、直径20 mm以上の像側視野を確保するための非球面を有することを特徴とする請求の範囲67～74の何れか一項記載の投影露光装置。

82. 更に以下の条件式を満足することを特徴とする請求の範囲67～74の何れか一項記載の投影露光装置。

$$y \leq (9x/2) - 270$$

- 25 83. 更に以下の条件式を満足することを特徴とする請求の範囲67、69～74の何れか一項記載の投影露光装置。

$$y \leq 90$$

84. 更に以下の条件式を満足することを特徴とする請求の範囲67～74の何れか一項記載の投影露光装置。

$$y \geq (9x/2) - (855/2)$$

5 85. 投影原版上のパターンをワーク上に投影露光する投影露光方法において、

200nm以下の波長の露光光を前記投影原版へ供給する照明工程と；

10 前レンズ群、開口絞り、及び後レンズ群を備えた投影光学系を用いて前記投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとで前記ワーク上に形成する像形成工程と；を含み、

前記像形成工程は、前記投影原版からの光を前記前レンズ群へ導く第1補助工程と、該前レンズ群を経た光を前記開口絞りへ導く第2補助工程と、該開口絞りを経た光を前記後レンズ群へ導く第3補助工程と、該  
15 後レンズ群を経た光を用いて前記ワーク上に前記パターンの像を形成する第4補助工程とを含み、

前記投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をディスク材に換算した量を $y$  (kg)、前記後レンズ群の焦点距離を $f_2$  (mm)、前記投影光学系の像側の最大開口数を $NA_w$ とし、

$$20 \quad x = f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot NA_w^2$$

とするとき、以下の条件式を満足することを特徴とする投影露光方法。

$$y \leq 4x - 200,$$

$$y \leq (4x/13) + (1000/13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$25 \quad y \geq 0$$

86. 前記最大開口数 $NA_w$ 、及び螢石の量 $y$ について、

$NA_w > 0.72$  及び

$y < 7.5$

の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 85 記載の投影露光方法。

87. 前記投影光学系の後レンズ群の焦点距離  $f_2$  及び最大開口数  $NA$

5  $w$  は、

$110 < f_2 / NA_w < 200$

の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 85 記載の投影露光方法。

88. 前記照明工程では、 $0.5 \mu m$  以下の半値全幅の光を供給することを特徴とする請求の範囲 85 記載の投影露光方法。

10 89. 前記投影光学系中の非球面の数を  $A$  として、前記投影光学系は以下の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 85 記載の投影露光方法。

$0 \leq y < 40$  及び

$2 \leq A$

15 90. 前記投影光学系中の非球面の数を  $A$  として、前記投影光学系は以下の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 88 記載の投影露光方法。

$0 \leq y < 40$  及び

$2 \leq A$

20 91. 前記投影光学系中の非球面の数を  $A$  として、前記投影光学系は以下の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 85 記載の投影露光方法。

$40 \leq y < 70$  及び

$1 \leq A \leq 5$

25 92. 前記投影光学系中の非球面の数を  $A$  として、前記投影光学系は以下の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 88 記載の投影露光方

法。

$$40 \leq y < 70 \quad \text{及び}$$

$$1 \leq A \leq 5$$

- 5 9 3. 前記照明工程では、200 nm以下で170 nm以上の波長の光を供給することを特徴とする請求の範囲85～92の何れか一項記載の投影露光方法。

9 4. 前記像形成工程において形成される前記像の領域は、直径20 mm以上の円に内接することを特徴とする請求の範囲85～92の何れか一項記載の投影露光方法。

- 10 9 5. 前記投影光学系の像側の最大開口数NAwは以下の条件を満足することを特徴とする請求の範囲85、87～92の何れか一項記載の投影露光方法。

$$NAw \geq 0.65$$

- 15 9 6. 前記像形成工程は、前記螢石とは異なる材料からなるレンズに設けられた非球面に前記光を導く補助工程を含むことを特徴とする請求の範囲85～92の何れか一項記載の投影露光方法。

9 7. 前記前レンズ群、前記開口絞り、及び前記後レンズ群は、直線状に延びた光軸に沿って配置されることを特徴とする請求の範囲85～92の何れか一項記載の投影露光方法。

- 20 9 8. 前記投影光学系は、直径20 mm以上の像側視野を確保するための非球面を有することを特徴とする請求の範囲85～92の何れか一項記載の投影露光方法。

9 9. 所定の回路パターンを有するマイクロデバイスの製造方法において、

- 25 請求の範囲85～92の何れか一項記載の投影露光方法を用いて前記ワーク上に前記パターンの像を投影露光する工程と；

該投影露光された前記ワークを現像処理する工程と；を含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

100. 投影原版上のパターンをワーク上に投影露光する投影露光装置の製造方法において、

5 200 nm以下の波長の露光光を前記投影原版へ供給する照明光学系を準備する工程と；

前記投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとで前記ワーク上に形成する投影光学系を準備する工程と；を含み、

10 前記投影光学系を準備する工程は、前レンズ群、開口絞り、及び後レンズ群を準備する補助工程と、前記前レンズ群を前記開口絞りと前記投影原版が配置される位置との間に配置する補助工程と、前記後レンズ群を前記開口絞りと前記ワークが配置される位置との間に配置する補助工程とを有し、

15 前記投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をディスク材に換算した量を $y$  (kg)、前記後レンズ群の焦点距離を $f_2$  (mm)、前記投影光学系の像側の最大開口数を $NA_w$ とし、

$$x = f_2 \cdot 4 \cdot |\beta| \cdot NA_w^2$$

とするとき、以下の条件式を満足することを特徴とする投影露光装置の製造方法。

20  $y \leq 4x - 200,$

$$y \leq (4x / 13) + (1000 / 13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$y \geq 0$$

101. 投影原版上のパターンをワーク上で走査させつつ投影露光する走査型投影露光装置において、

200 nm以下の波長の露光光を前記投影原版へ供給する照明光学系

と；

前記投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとで前記ワーク上に形成する投影光学系と；を備え、

5 前記投影光学系は、開口絞りと、該開口絞りと前記投影原版との間に配置された前レンズ群と、前記開口絞りと前記ワークとの間に配置された後レンズ群とを有し、

前記投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をディスク材に換算した量を $y$ （k g）、前記後レンズ群の焦点距離を $f_2$ （mm）、前記投影光学系の像側の最大開口数を $NA_w$ とし、

10 
$$x = f_2 \cdot 4 \mid \beta \mid \cdot NA_w^2$$

とすると、以下の条件式を満足することを特徴とする走査型投影露光装置。

$$y \leq 4x - 200,$$

$$y \leq (4x / 13) + (1000 / 13),$$

15 
$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$y \geq 0$$

102. 波長200nm以下の光を用いて第1面のパターンの像を第2面上に形成する屈折型の投影光学系において、

開口絞りと；

20 該開口絞りと前記第1面との間に配置される前レンズ群と；

前記開口絞りと前記第2面との間に配置される後レンズ群と；を備え、

前記投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をディスク材に換算した量を $y$ （k g）、前記後レンズ群の焦点距離を $f_2$ （mm）、前記投影光学系の投影倍率を $\beta$ 、前記投影光学系の像側の最大開口数を

25  $NA_w$ とし、

$$x = f_2 \cdot 4 \mid \beta \mid \cdot NA_w^2$$

とするとき、以下の条件式を満足することを特徴とする投影光学系。

$$y \leq 4x - 200,$$

$$y \leq (4x / 13) + (1000 / 13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$5 \quad y \geq 0$$

103. 波長200nm以下の光を用いて第1面のパターンの像を第2面上に形成する屈折型の投影光学系の製造方法において、

前レンズ群、開口絞り、及び後レンズ群を準備する工程と；

前記前レンズ群を前記開口絞りと前記第1面との間に配置する工程と

10 ;

前記後レンズ群を前記開口絞りと前記第2面との間に配置する工程と

;を有し、

前記投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をディスク材に換算した量を $y$  (kg)、前記後レンズ群の焦点距離を $f_2$  (mm)、

15 前記投影光学系の投影倍率を $\beta$ 、前記投影光学系の像側の最大開口数を $NA_w$ とし、

$$x = f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot NA_w$$

とするとき、以下の条件式を満足することを特徴とする投影光学系の製造方法。

$$20 \quad y \leq 4x - 200,$$

$$y \leq (4x / 13) + (1000 / 13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$y \geq 0$$

104. 投影原版上のパターンをワーク上に投影露光する投影露光装置  
25 において、

200nm以下の波長の露光光を前記投影原版へ供給する照明光学系

と；

前記投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとで前記ワーク上に形成する投影光学系と；を備え、

前記投影光学系は、開口絞りと、該開口絞りと前記投影原版との間に  
5 配置された前レンズ群と、前記開口絞りと前記ワークとの間に配置された後レンズ群とを有し、

前記投影光学系中の光透過性光学材料のうちの螢石の量をディスク材に換算した量を $y$ （k g）、前記後レンズ群の焦点距離を $f_2$ （mm）、前記投影光学系の像側の最大開口数を $NA_w$ とし、

$$10 \quad x = f_2 \cdot 4 \cdot \beta \cdot NA_w^2 \quad \dots$$

とするとき、以下の条件式を満足することを特徴とする投影露光装置。

$$y \leq (9x/2) - 270,$$

$$y \leq 90,$$

$$y \geq (9x/2) - (855/2), \text{ 及び}$$

$$15 \quad y \geq 0$$

105. 前記最大開口数 $NA_w$ 、及び螢石の量 $y$ について、

$$NA_w > 0.72 \quad \text{及び}$$

$$y < 75$$

20 の条件を満足することを特徴とする請求の範囲104記載の投影露光装置。

106. 前記投影光学系の後レンズ群の焦点距離 $f_2$ 及び最大開口数 $NA_w$ は、

$$110 < f_2 / NA_w < 200$$

25 の条件を満足することを特徴とする請求の範囲104記載の投影露光装置。

107. 投影原版上のパターンをワーク上に投影露光する投影露光装置

において、

200 nm以下の波長の露光光を前記投影原版へ供給する照明光学系と；

5 前記投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとで前記ワーク上に形成する投影光学系と；を備え、

前記投影光学系は、開口絞りと、該開口絞りと前記投影原版との間に配置された前レンズ群と、前記開口絞りと前記ワークとの間に配置された後レンズ群とを有し、

10 前記投影光学系中の光透過性光学材料のうちの第1の材料の量をディスク材に換算した量を $y$  (kg)、前記後レンズ群の焦点距離を $f_2$  (mm)、前記投影光学系の像側の最大開口数を $NA_w$ とし、

$$x = f_2 \cdot 4 \cdot \beta \cdot NA_w^2$$

とするとき、以下の条件式を満足することを特徴とする投影露光装置。

$$\begin{aligned} y &\leq 4x - 200, \\ 15 \quad y &\leq (4x / 13) - (1000 / 13), \\ y &\geq 4x - 440, \text{ 及び} \\ y &\geq 0 \end{aligned}$$

108. 前記最大開口数 $NA_w$ 、及び螢石の量 $y$ について、

$$\begin{aligned} NA_w &> 0.72 \quad \text{及び} \\ 20 \quad y &< 75 \end{aligned}$$

の条件を満足することを特徴とする請求の範囲107記載の投影露光装置。

109. 前記投影光学系の後レンズ群の焦点距離 $f_2$ 及び最大開口数 $NA_w$ は、

$$25 \quad 110 < f_2 / NA_w < 200$$

の条件を満足することを特徴とする請求の範囲107記載の投影露光

装置。

1 1 0. 以下の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 1 0 7 記載の投影露光装置。

$$y = 0$$

5 1 1 1. 前記照明光学系は 2 0 0 nm 以下で 1 7 0 nm 以上の波長の光を供給し、前記投影光学系中の前記光透過性材料のうちの前記第 1 の材料は石英であることを特徴とする請求の範囲 1 1 0 記載の投影露光装置。

1 1 2. 前記照明光学系は 1 7 0 nm 以下の波長の光を供給し、前記投影光学系中の前記光透過性材料のうちの前記第 1 の材料は螢石であることを特徴とする請求の範囲 1 1 0 記載の投影露光装置。

1 1 3. 前記投影光学系中の前記光透過性材料は、前記第 1 の材料とは異なる第 2 の材料を更に有することを特徴とする請求の範囲 1 0 7 記載の投影露光装置。

1 1 4. 前記第 2 の材料は石英ガラスであることを特徴とする請求の範囲 1 1 3 記載の投影露光装置。

1 1 5. 前記第 1 の材料は螢石であることを特徴とする請求の範囲 1 1 4 記載の投影露光装置。

1 1 6. 前記照明光学系は、0. 5  $\mu$ m 以下の半値全幅の光を供給することを特徴とする請求の範囲 1 0 7 ~ 1 1 5 の何れか一項記載の投影露光装置。

1 1 7. 前記投影光学系は、直径 2 0 mm 以上の像側視野を有することを特徴とする請求の範囲 1 0 7 ~ 1 1 5 の何れか一項記載の投影露光装置。

1 1 8. 前記投影光学系は、直径 2 0 mm 以上の像側視野を確保するための非球面を有することを特徴とする請求の範囲 1 0 7 ~ 1 1 5 の何れか一項記載の投影露光装置。

1 1 9. 前記前レンズ群、前記開口絞り、及び前記後レンズ群は、直線  
 状に延びた光軸に沿って配置されることを特徴とする請求の範囲 1 0 7  
 ～ 1 1 5 の何れか一項記載の投影露光装置。

1 2 0. 投影原版上のパターンをワーク上に投影露光する投影露光方法  
 5 において、

2 0 0 n m 以下の波長の露光光を前記投影原版へ供給する照明工程と  
 ;

前レンズ群、開口絞り、及び後レンズ群を備えた投影光学系を用いて  
 前記投影原版上のパターンの像を所定の投影倍率  $\beta$  のもとで前記ワーク  
 10 上に形成する像形成工程と ; を含み、

前記像形成工程は、前記投影原版からの光を前記前レンズ群へ導く第  
 1 補助工程と、該前レンズ群を経た光を前記開口絞りへ導く第 2 補助工  
 程と、該開口絞りを経た光を前記後レンズ群へ導く第 3 補助工程と、該  
 後レンズ群を経た光を用いて前記ワーク上に前記パターンの像を形成す  
 15 る第 4 補助工程とを含み、

前記投影光学系中の光透過性光学材料のうちの第 1 の材料の量をディ  
 スク材に換算した量を  $y$  (k g)、前記後レンズ群の焦点距離を  $f_2$   
 (mm)、前記投影光学系の像側の最大開口数を  $NA_w$  とし、

$$x = f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot NA_w^2$$

20 とするとき、以下の条件式を満足することを特徴とする投影露光方法。

$$y \leq 4x - 200,$$

$$y \leq (4x / 13) + (1000 / 13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$y \geq 0$$

25 1 2 1. 前記最大開口数  $NA_w$ 、及び螢石の量  $y$  について、

$$NA_w > 0.72 \quad \text{及び}$$

$$y < 7.5$$

の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 1 2 0 記載の投影露光方法。

1 2 2. 前記投影光学系の後レンズ群の焦点距離  $f_2$  及び最大開口数  $NA_w$  は、

$$1.10 < f_2 / NA_w < 2.00$$

の条件を満足することを特徴とする請求の範囲 1 2 0 記載の投影露光方法。

1 2 3. 波長 200 nm 以下の光を用いて第 1 面のパターンの像を第 2 面上に形成する屈折型の投影光学系において、

開口絞りと；

該開口絞りと前記第 1 面との間に配置される前レンズ群と；

前記開口絞りと前記第 2 面との間に配置される後レンズ群と；を備え、

前記投影光学系中の光透過性光学材料のうちの第 1 の材料の量をディスク材に換算した量を  $y$  (kg)、前記後レンズ群の焦点距離を  $f_2$  (mm)、前記投影光学系の投影倍率を  $\beta$ 、前記投影光学系の像側の最大開口数を  $NA_w$  とし、

$$x = f_2 \cdot 4 |\beta| \cdot NA_w^2$$

とすると、以下の条件式を満足することを特徴とする投影光学系。

$$y \leq 4x - 200,$$

$$y \leq (4x / 13) + (1000 / 13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

$$y \geq 0$$

1 2 4. 波長 200 nm 以下の光を用いて第 1 面のパターンの像を第 2 面上に形成する屈折型の投影光学系の製造方法において、

前レンズ群、開口絞り、及び後レンズ群を準備する工程と；

前記前レンズ群を前記開口絞りと前記第 1 面との間に配置する工程と

;

前記後レンズ群を前記開口絞りと前記第 2 面との間に配置する工程と

;を有し、

- 5      前記投影光学系中の光透過性光学材料のうちの第 1 の材料の量をディスク材に換算した量を  $y$  (k g)、前記後レンズ群の焦点距離を  $f_2$  (mm)、前記投影光学系の投影倍率を  $\beta$ 、前記投影光学系の像側の最大開口数を  $NA_w$  とし、

$$x = [f_2 \cdot 4 \mid \beta \mid \cdot NA_w]^2$$

- 10      とするとき、以下の条件式を満足することを特徴とする投影光学系の製造方法。

$$y \leq 4x - 200,$$

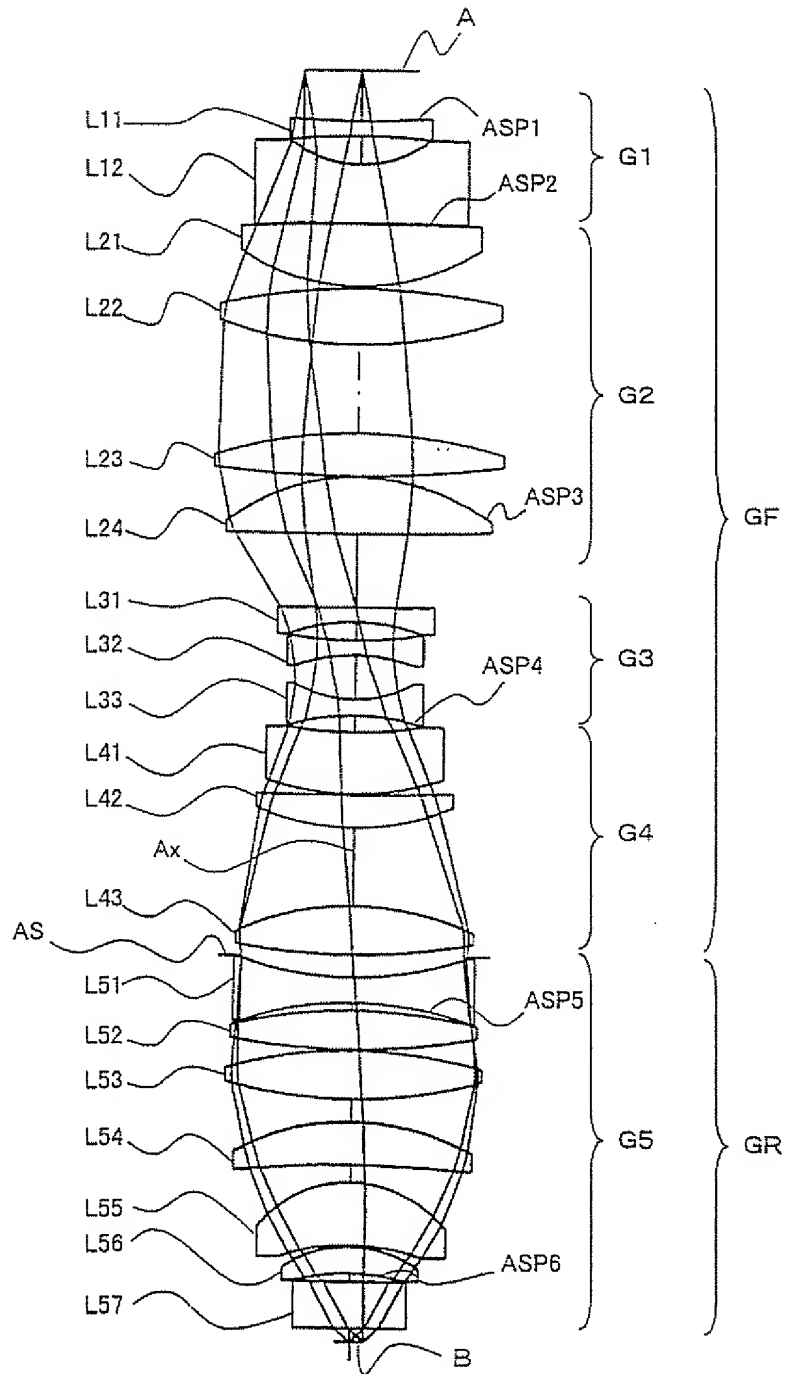
$$y \leq (4x / 13) + (1000 / 13),$$

$$y \geq 4x - 440, \text{ 及び}$$

- 15       $y \geq 0$

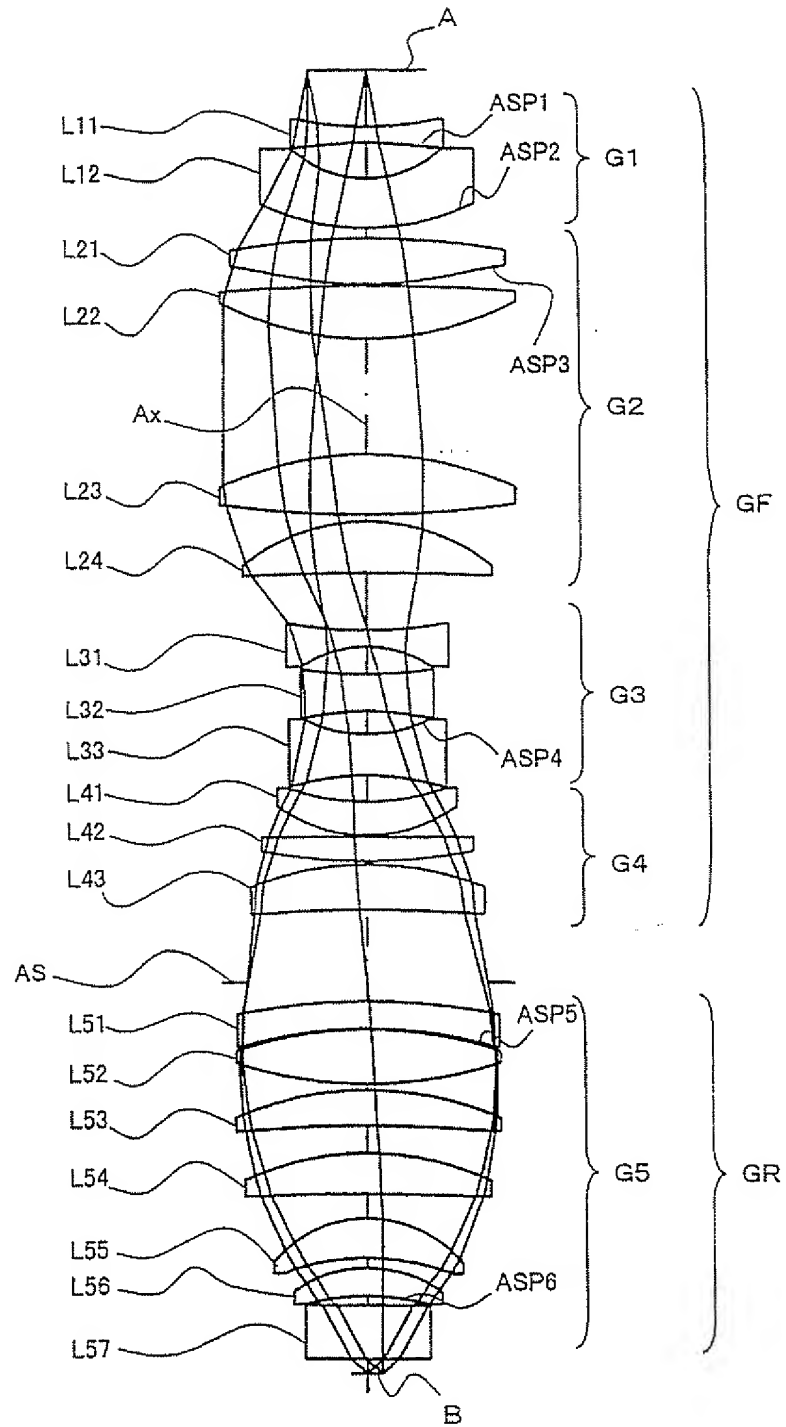
1/20

図 1



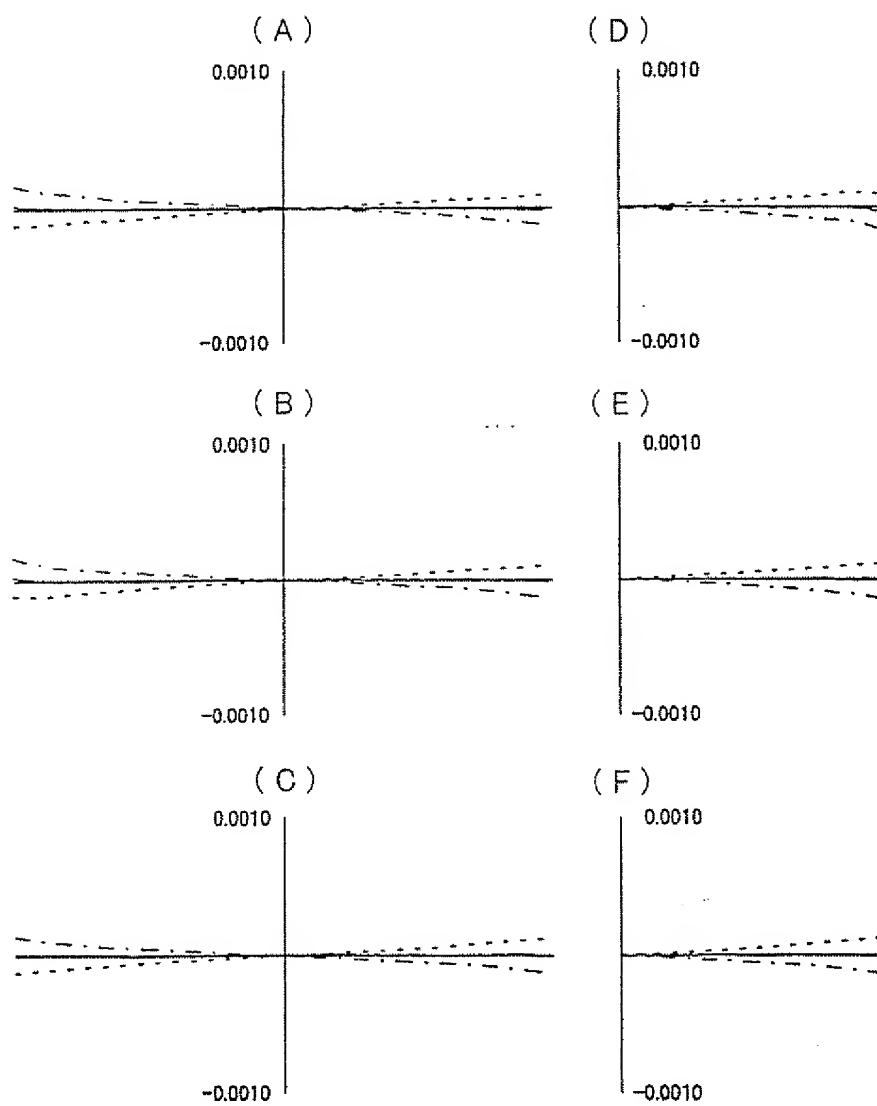
2/20

図 2



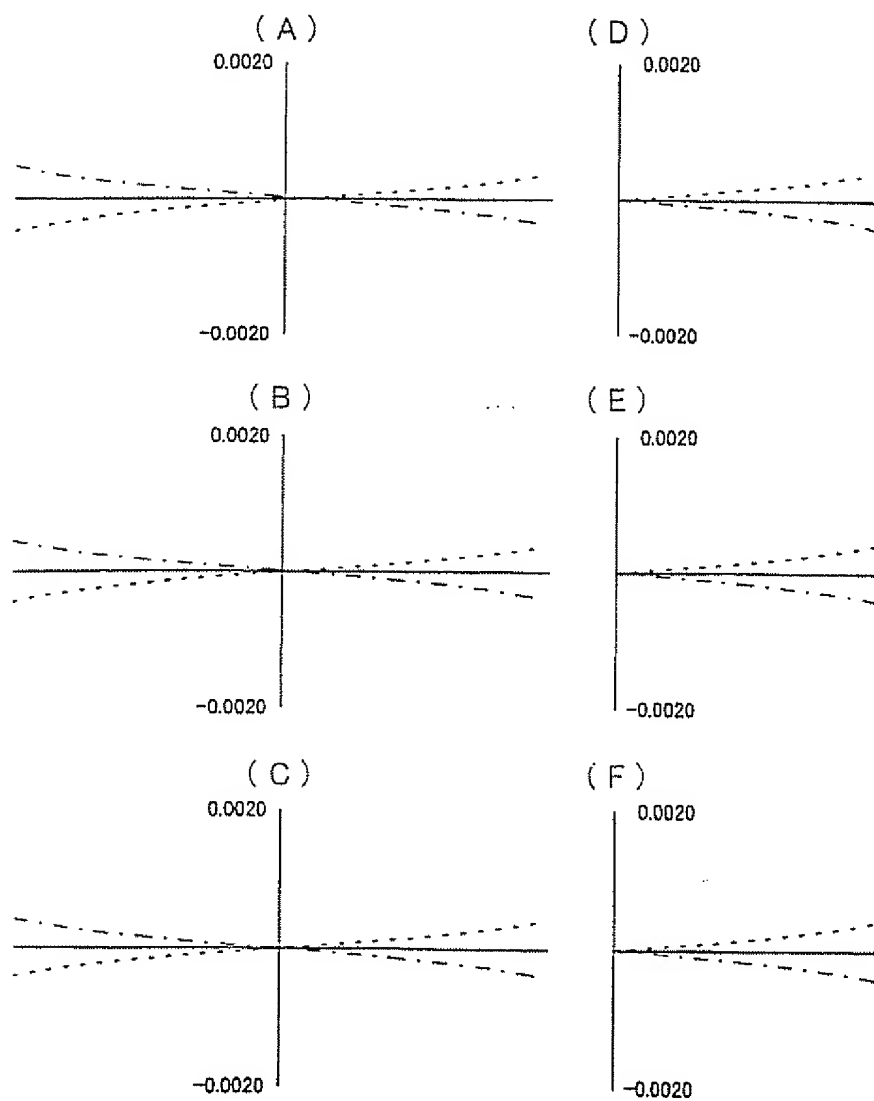
3/20

図 3



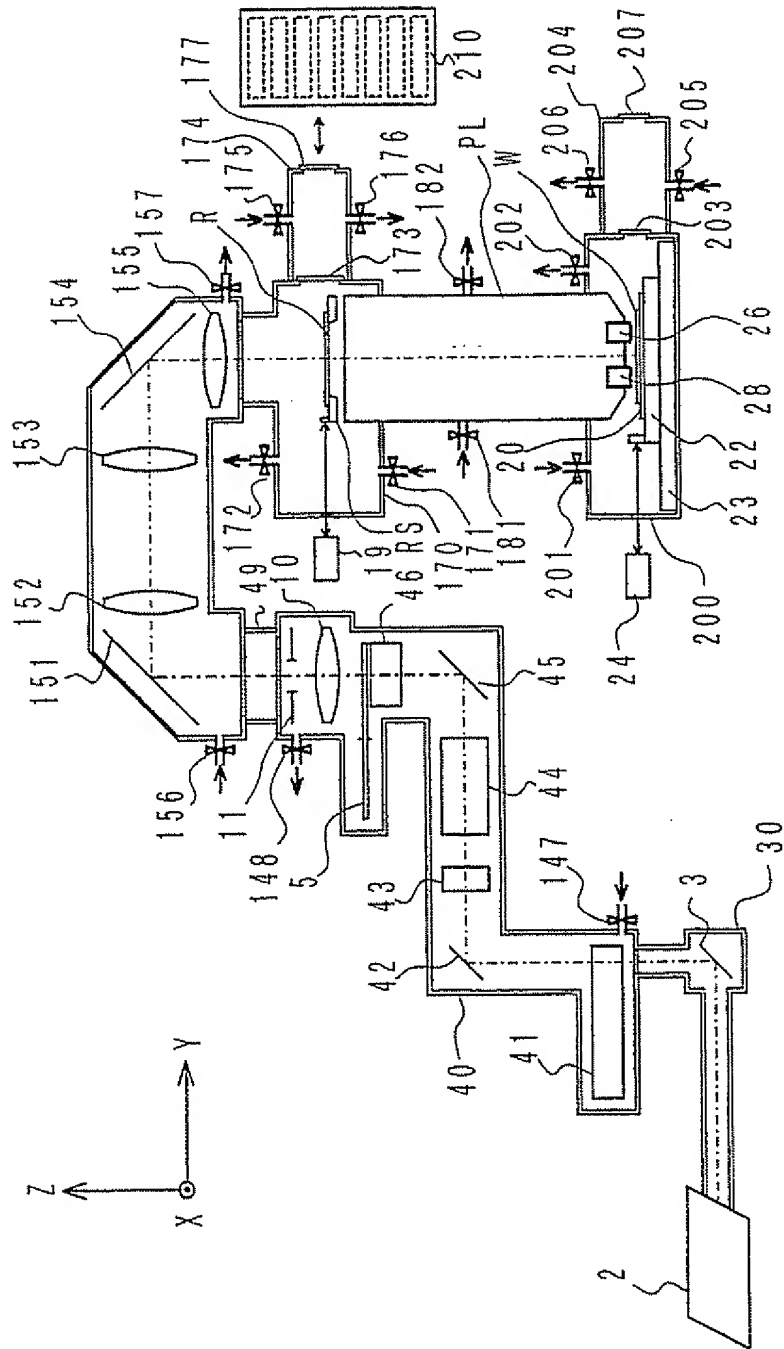
4/20

図 4



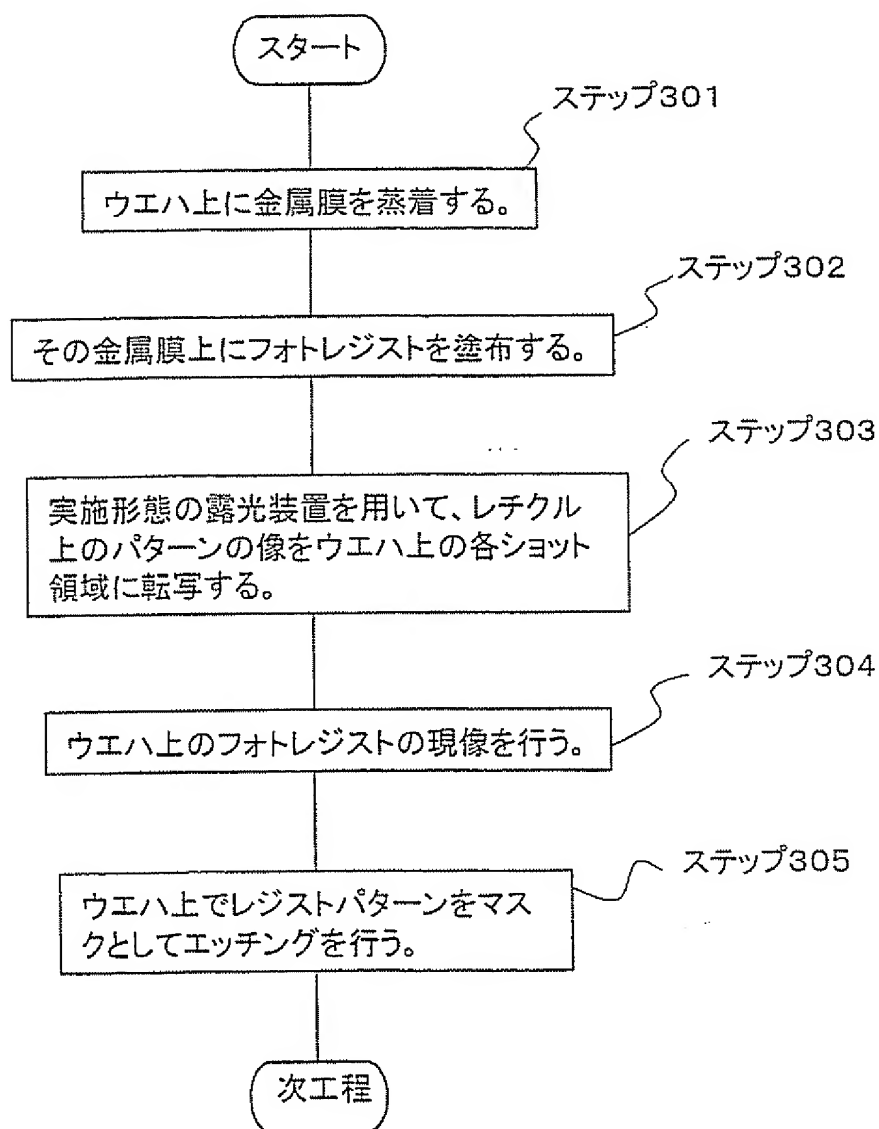
5/20

図 5



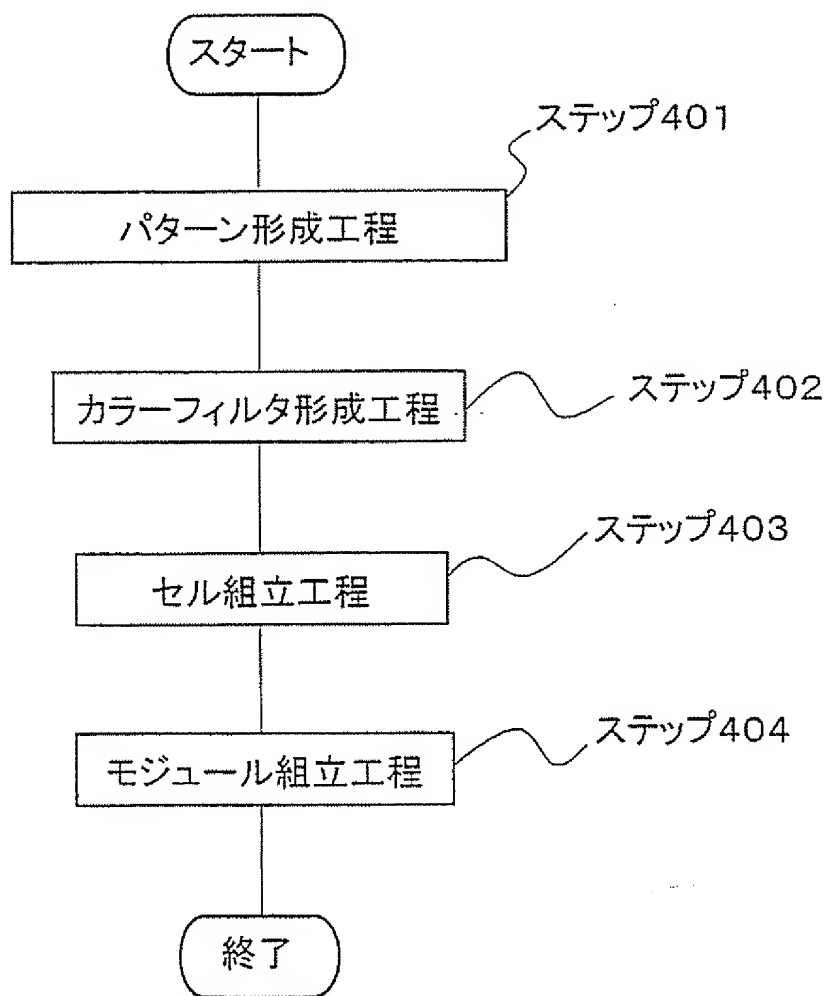
6/20

図 6



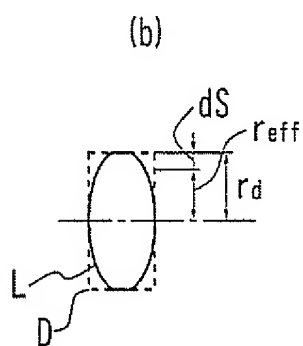
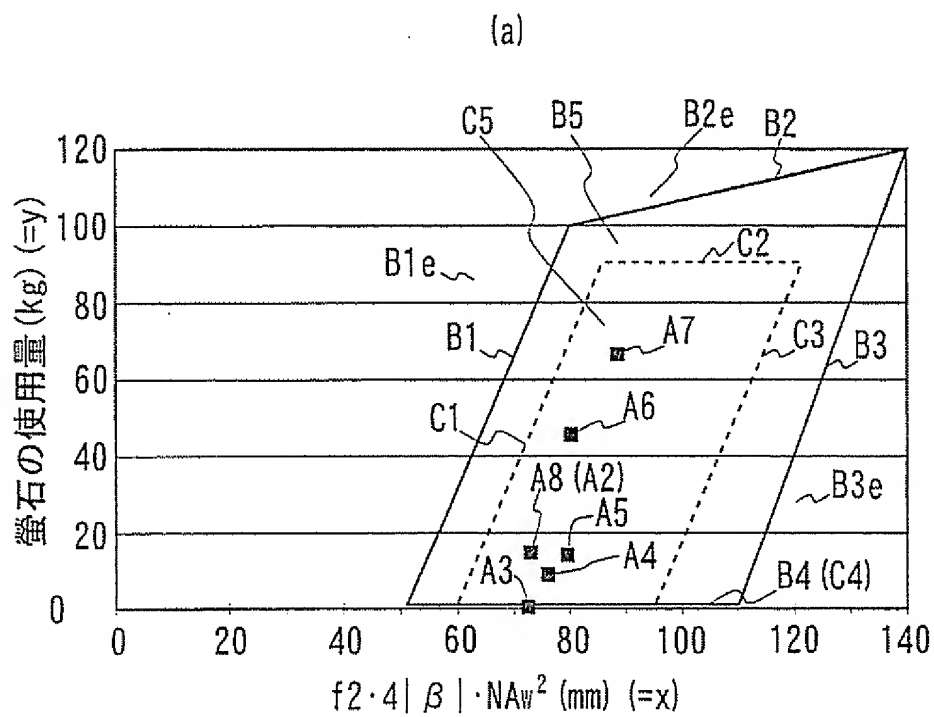
7/20

図 7



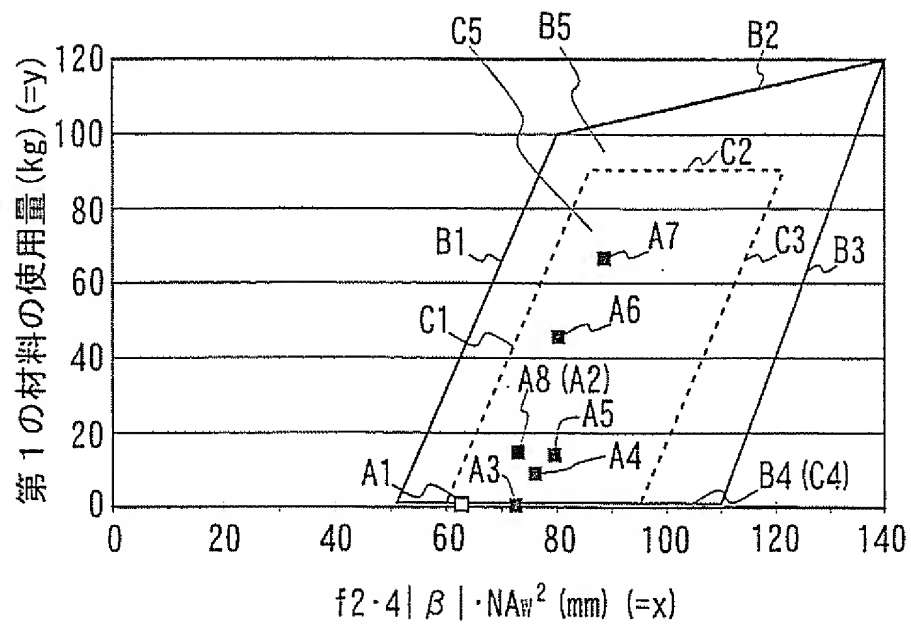
8/20

図 8



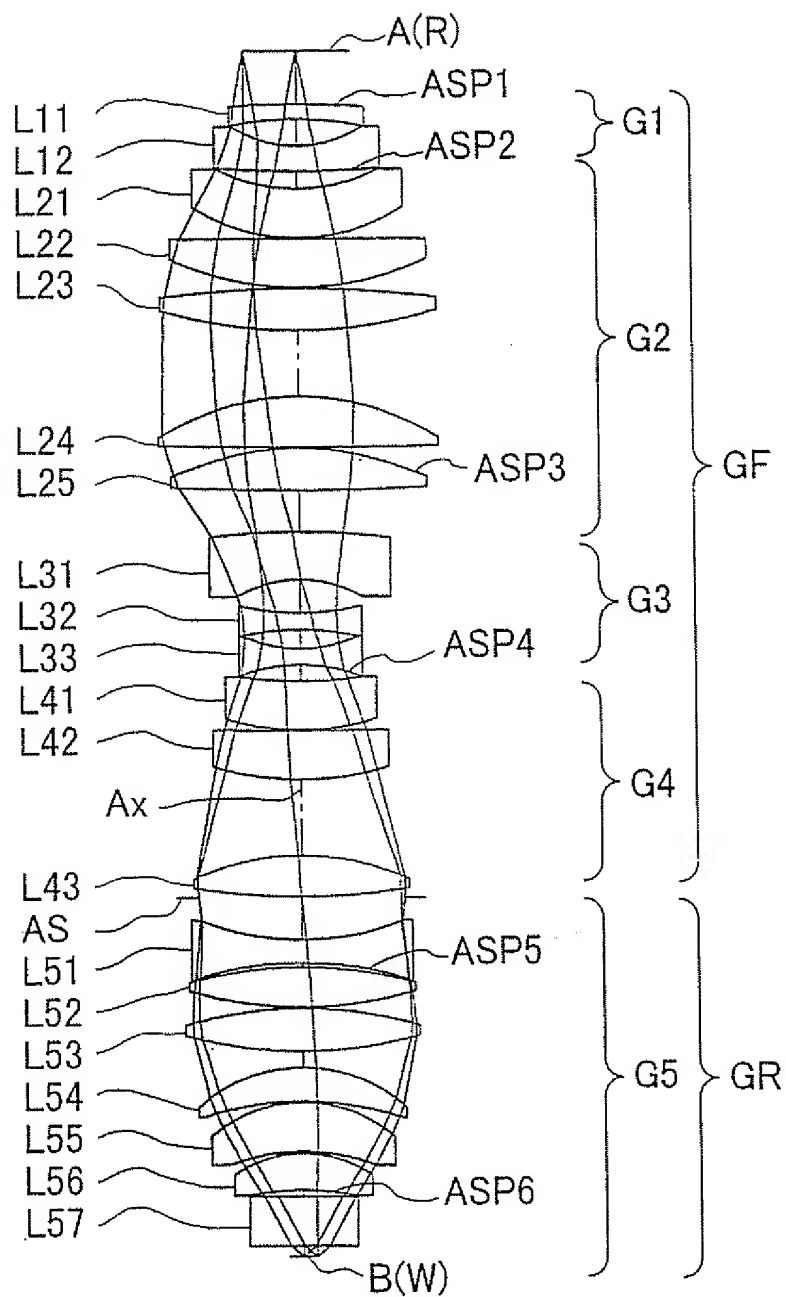
9/20

図 9



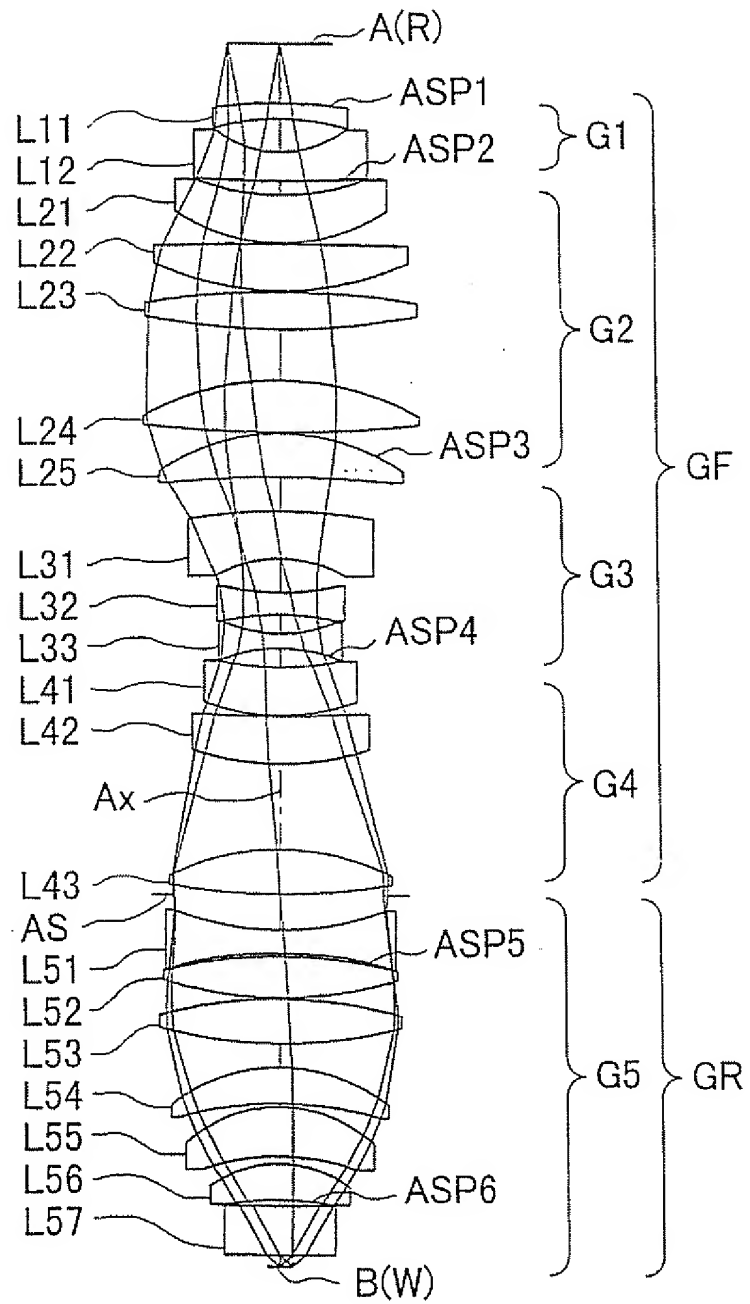
10/20

図 10



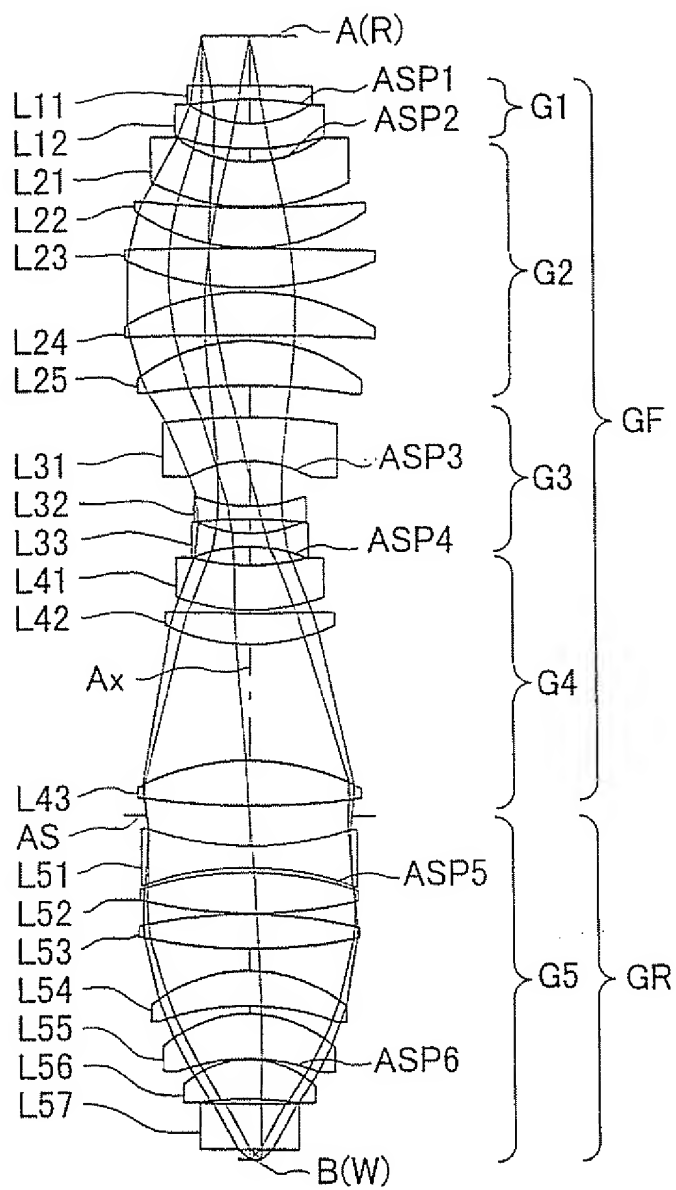
11/20

1 1



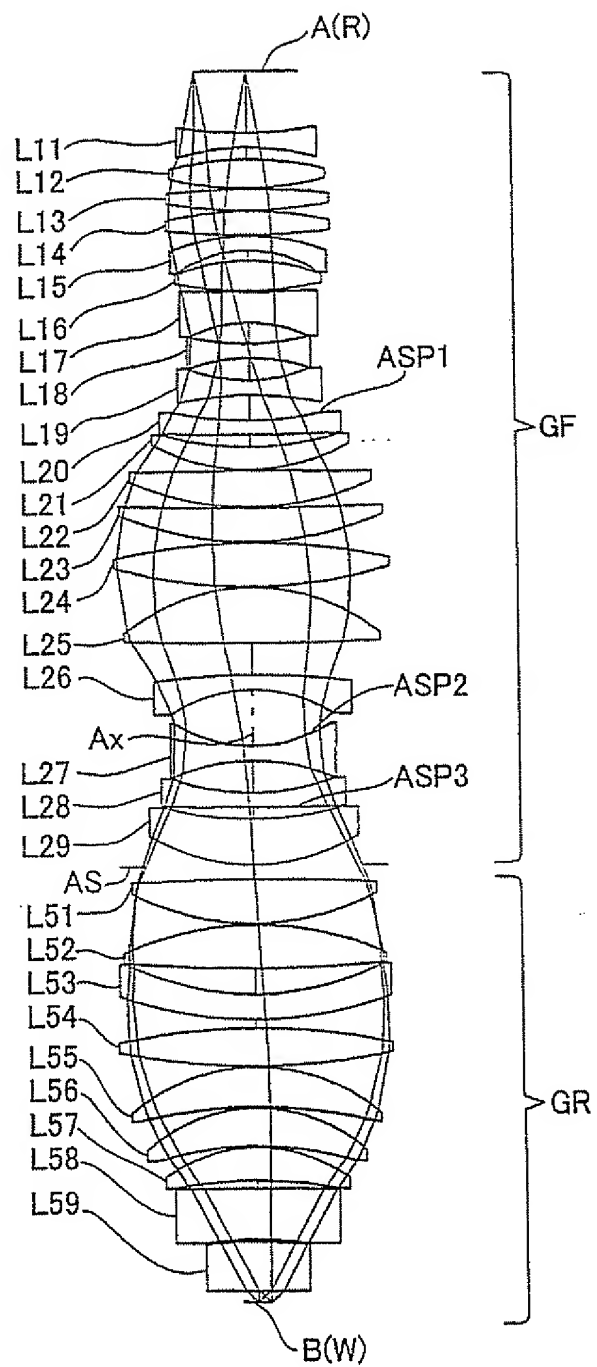
12/20

1 2



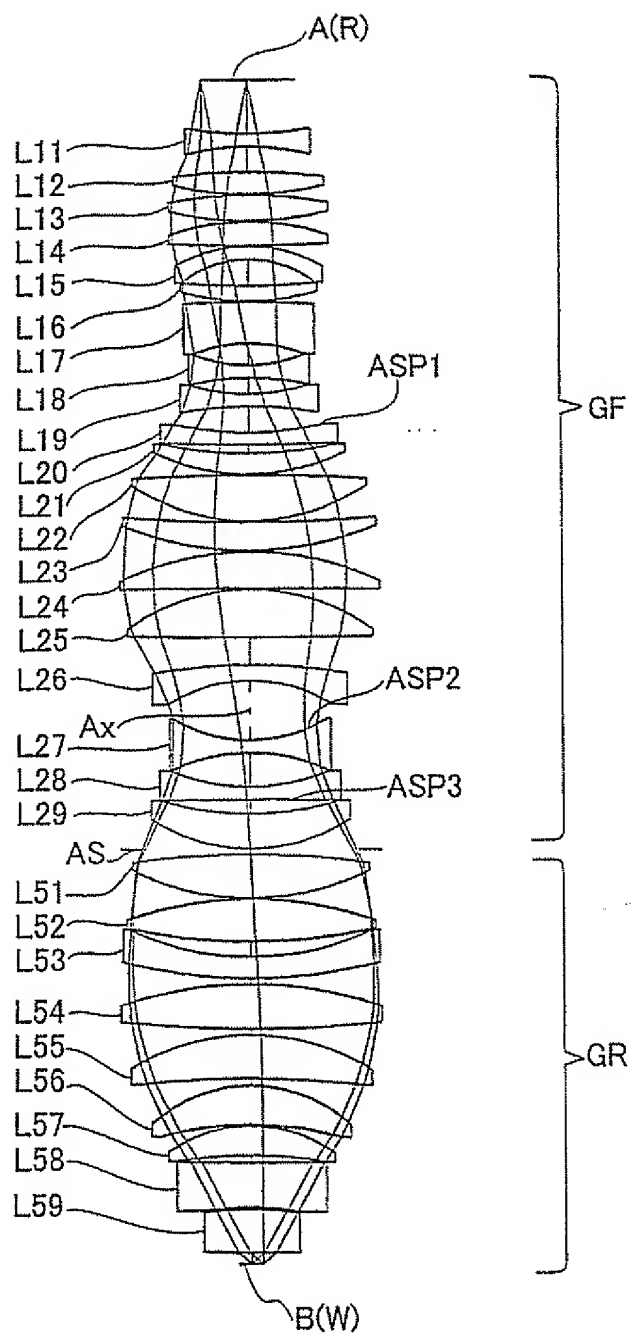
13/20

図 1 3



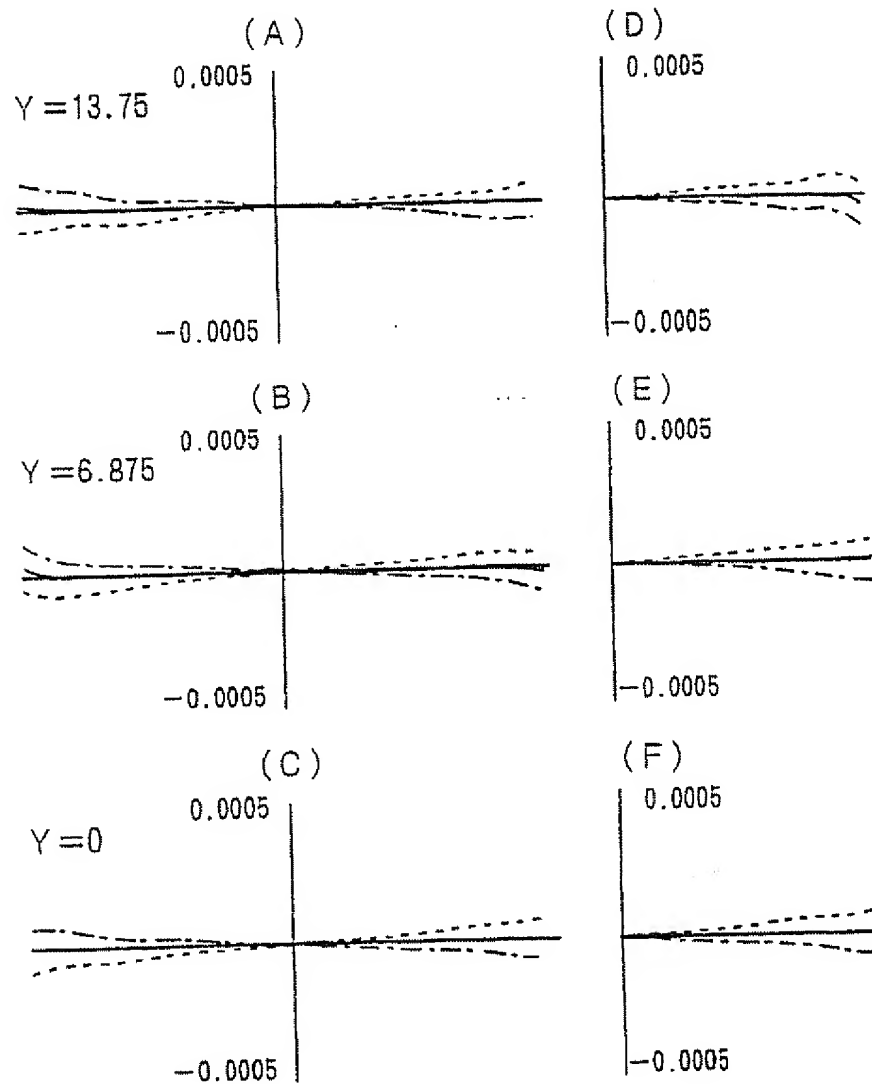
14/20

図 1 4



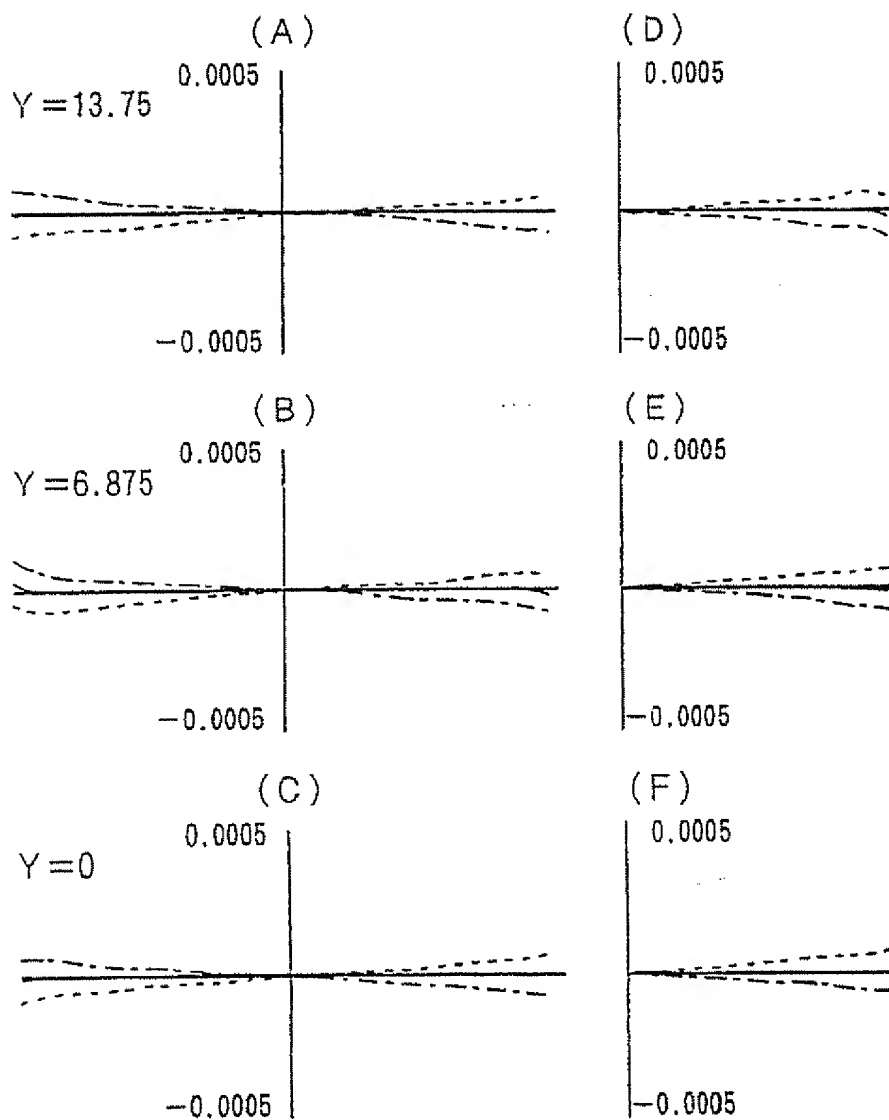
15/20

図 15



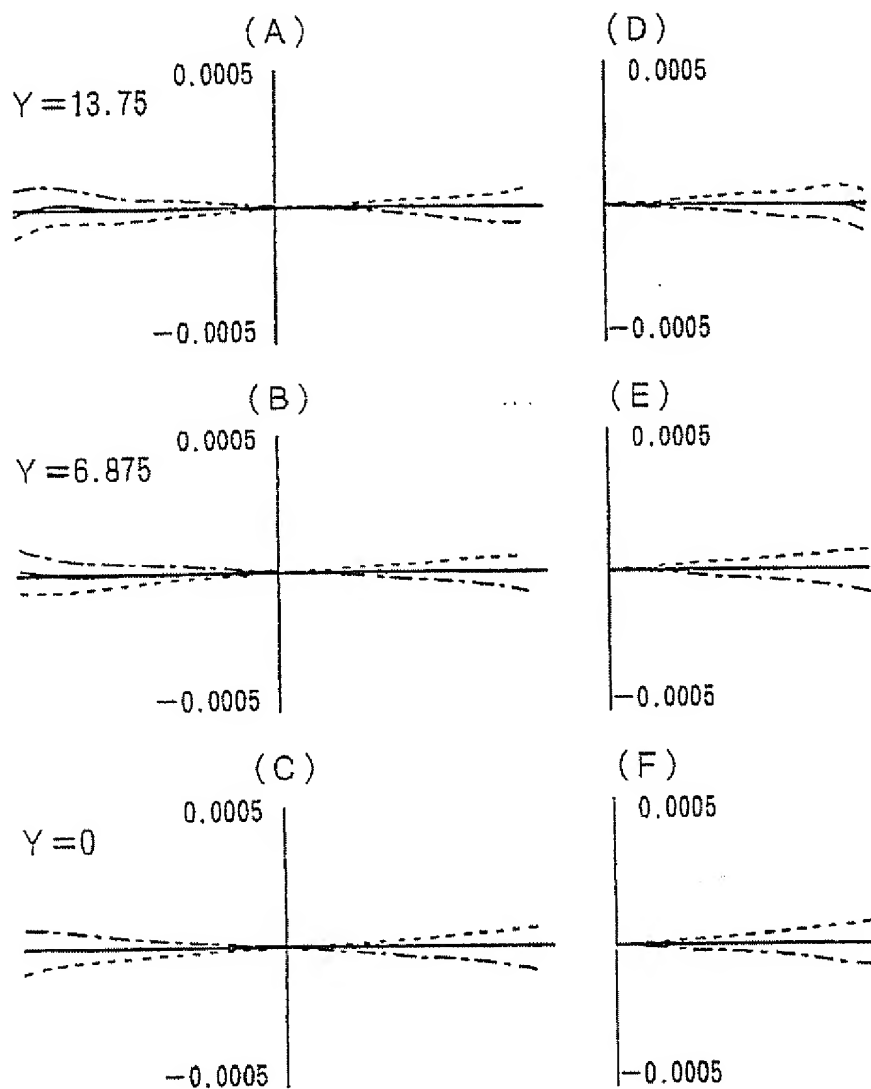
16/20

図 16



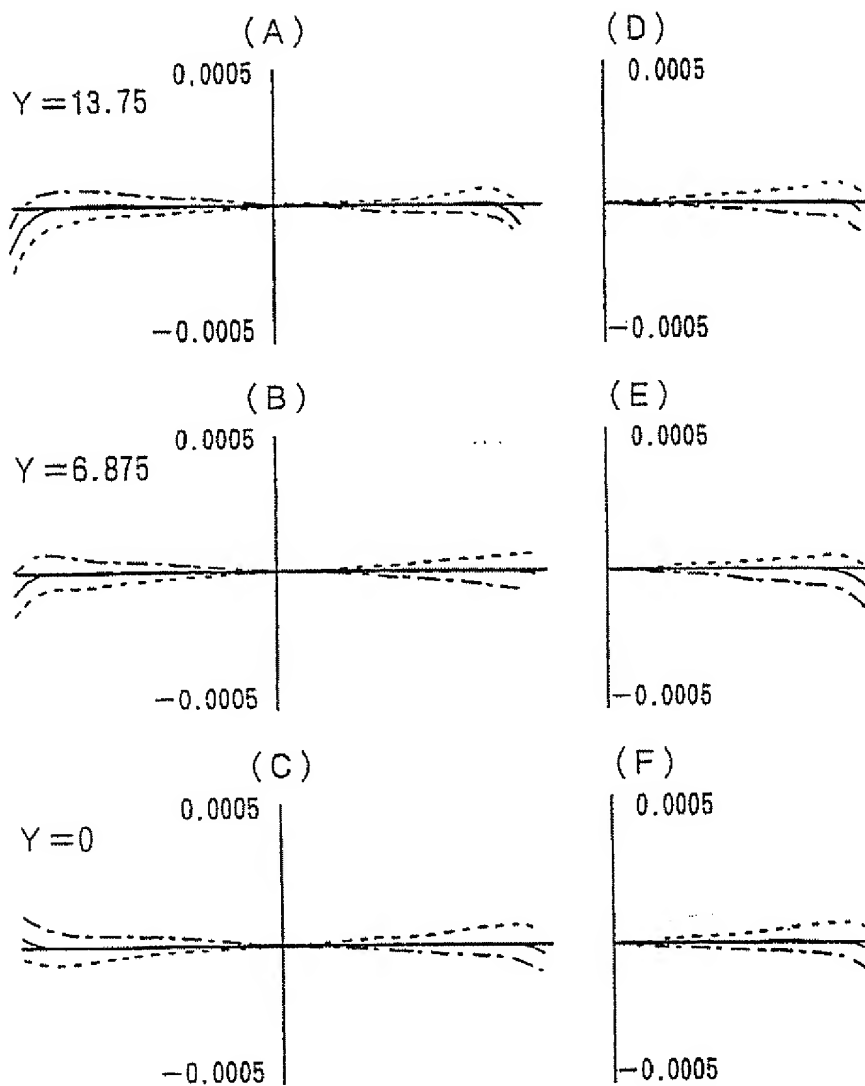
17/20

図 17



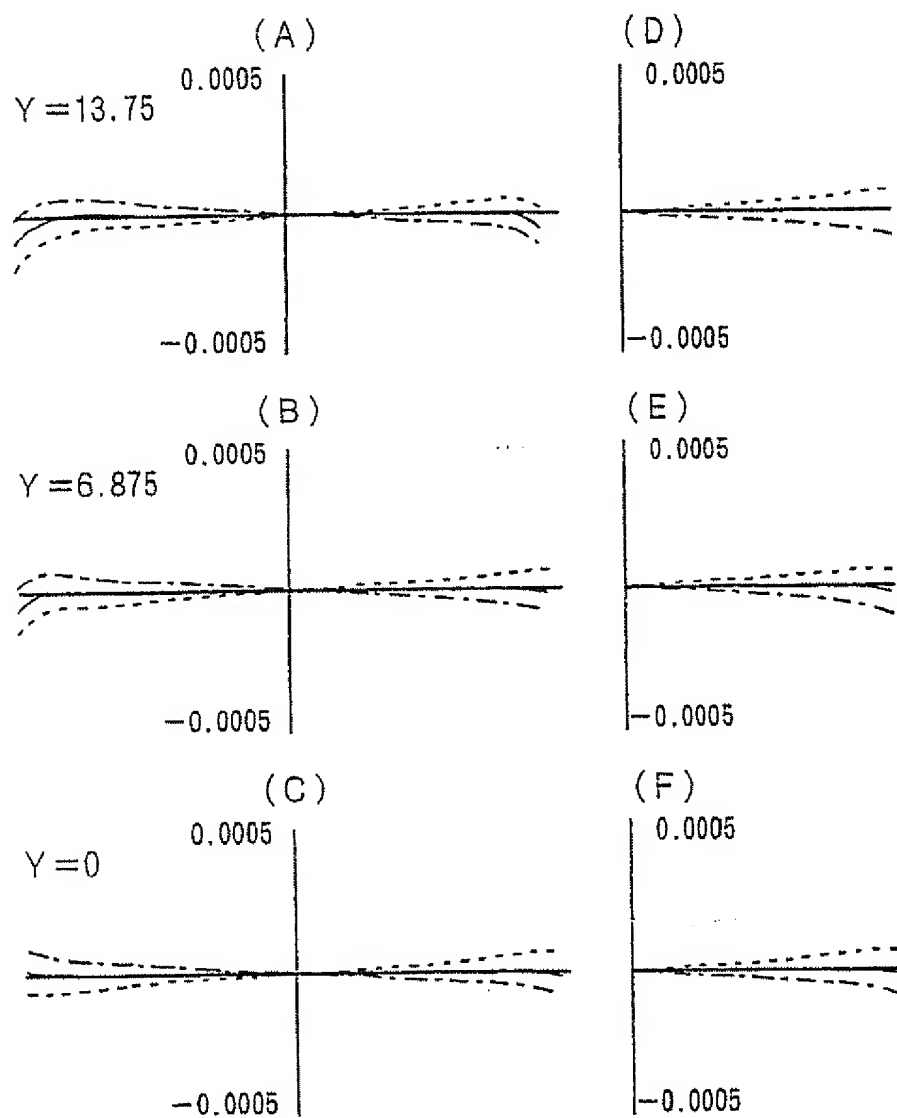
18/20

図 18



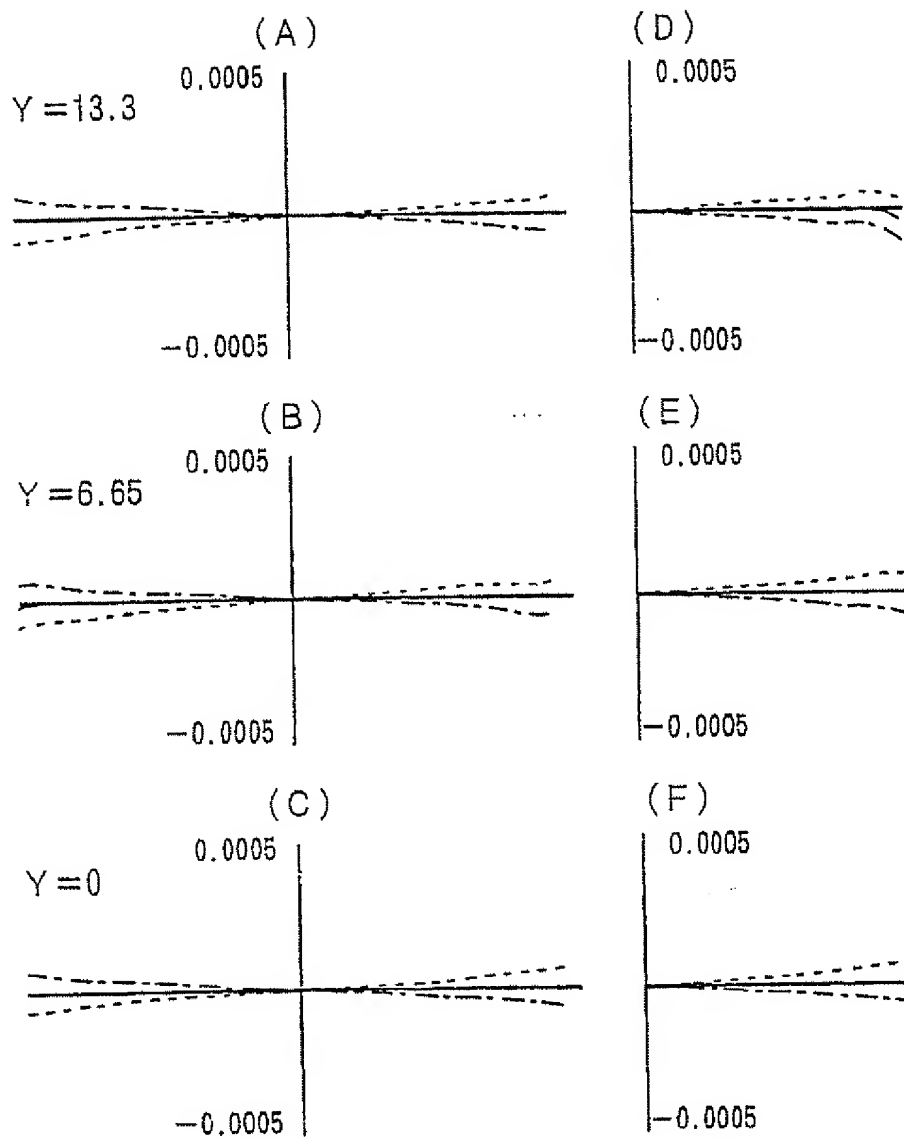
19/20

図 19



20/20

図 20



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/06706

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> G02B13/24, G02B13/18, H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> G02B13/24, G02B13/18, H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2000	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 11-133301, A (Nikon Corporation), ... 21 May, 1999 (21.05.99), Full text; all drawings (Family: none)	1
X	US, 5808814, A (Nikon Corporation), 15 September, 1998 (15.09.98), Full text; all drawings & JP, 10-115779, A Full text; all drawings	1
X	JP, 9-329742, A (Nikon Corporation), 22 December, 1997 (22.12.97), Full text; all drawings (Family: none)	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
18 December, 2000 (18.12.00)

Date of mailing of the international search report  
26 December, 2000 (26.12.00)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/06706

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

See extra sheet.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
  
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
  
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:  
Claim 1

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.II of continuation of first sheet(1)

1. The invention of claim 1 relates to a refractive projection exposure optical system for forming the image of a pattern on a first surface on a second surface by the action of a light-transmitting refractive member, comprising a front lens group disposed in an optical path between the first and second surfaces and having a positive refractive power, a rear lens group disposed in an optical path between the front lens group and the second surface and having a positive refractive power, and an aperture stop disposed near the back-side focal distance of the front lens group, wherein the first and second surfaces of the projection optical system are telecentric, and the condition concerning the focal distance of the second lens group and the distance between the first and second surfaces is determined.

Claims 2-14 are dependent claims referring to claim 1.

The invention of claim 15 relates to a method for producing a projection optical system where the same specific matters as those of the invention of claim 1 are specified.

Claims 57-59, 63, 66 are dependent claims referring to claim 1.

2. The invention of claim 16 relates to a refractive projection optical system for forming the image of a pattern on a first surface on a second surface by the action of a light-transmitting refractive member, characterized in that the refractive projection optical system includes three or more lenses having refractive power, and at least one surface of the three lenses on the first surface side selected from among the lenses having refractive power is an aspherical surface having negative refractive power.
3. The invention of claim 17 relates to a refractive projection optical system for forming the image of a pattern on a first surface on a second surface by the action of a light-transmitting member, wherein the refractive projection optical system has lenses having refractive power, at least one surface of the two lenses on the first surface side selected from among the lenses having refractive power is aspherical, and the condition concerning the relationship between the local principal

curvature at and near the optical axis of the aspherical surface and the local principal curvature in the meridional direction of the peripheral part within the lens effective diameter of the aspherical surface is specified.

4. The invention of claim 18 relates to a refractive projection optical system for forming the image of a pattern on a first surface on a second surface by the action of a light-transmitting member, wherein the refractive projection optical system has lenses having refractive power, at least one surface of the four lenses on the first surface side selected from among the lenses having refractive power is aspherical, and the condition concerning the relationship between the local principal curvature at and near the optical axis of the aspherical surface and the local principal curvature in the meridional direction of the peripheral part within the lens effective diameter of the aspherical surface is specified.

The invention of claim 19 relates to a method for producing a refractive projection optical system where the same specific matters as those of the invention of claim 18 are specified.

5. The invention of claim 20 relates to a refractive projection optical system for forming a demagnified image of a pattern on a first surface on a second surface, wherein the refractive projection optical system has, from the first surface side, a first lens group having negative refractive power, a second lens group having positive refractive power, a third lens group having negative refractive power, a fourth lens group having positive refractive power, an aperture stop, and a fifth lens group having positive refractive power, and the condition concerning the relationship among the synthetic lateral magnifications of the first and second lens groups, the distance from the first surface to the lens surface of the lens, nearest to the second surface, of the second lens group, and the distance between the first and second surfaces is specified. Claims 21-30 are dependent claims referring to claim 20.

The invention of claim 31 relates to a method for producing a projection optical system where the same specific matters as those of the invention of claim 21 are specified.

6. The invention of claim 32 relates to a projection optical system for forming a demagnified image of a pattern on a first surface on a second surface, wherein the projection optical system includes at least one light-transmitting refractive member disposed in an optical path of the projection optical system, and the condition concerning the relationship between the overall thickness along the optical axis of the light-transmitting member disposed in the optical path of the projection optical system and the distance between the first and second surfaces is determined.

Claims 33-41 are dependent claims referring to claim 32.

The invention of claim 42 relates to a method for producing a projection optical system where the same specific matters as those of the invention of claim 32 are specified.

7. The invention of claim 43 relates to a refractive projection optical system for forming a demagnified image of a pattern on a first surface on a second surface, wherein the refractive projection optical system includes three or more aspherical lens surfaces, and the condition concerning the relationship between the sum of the numbers of members having refractive power among the light-transmitting refractive members of the projection optical system and the sum of the numbers of members having aspherical lens surfaces is determined.

Claims 44-55 are dependent claims referring to claim 43.

The invention of claim 56 relates to a method for producing a projection optical system where the same specific matters as those of the invention of claim 43 are specified.

8. The invention of claim 60 relates to a projection exposure apparatus for projecting a demagnified image of a pattern provided on a projection original onto a work to expose it, characterized by comprising a light source for supplying exposure light in a wavelength band of 180 nm or less, an illumination optical system for directing the exposure light from the light source to the pattern on the projection original, and

a projection optical system disposed in the optical path between the projection original and the work and adapted to direct the exposure light the intensity of which is 25% or more of that of exposure light passing through the projection original and thereby to form a demagnified image of the pattern on the work.

Claim 61 is a dependent claim referring to claim 60.

9. The invention of claim 62 relates to a projection exposure apparatus for projecting a demagnified image of a pattern provided on a projection original onto a work to expose it, wherein the apparatus comprises a light source for supplying exposure light in a wavelength band of 200 nm or less, an illumination optical system for directing the exposure light from the light source to the pattern on the projection original, and a projection optical system disposed in the optical path between the projection original and the work and adapted to direct the exposure light passing through the projection original to the work and thereby to form a demagnified image of the pattern on the work, the condition concerning the relationship among the intensity of exposure light directed from the light source to the illumination optical system to the projection original, the intensity of exposure light directed from the illumination optical system, the intensity of exposure light entering the projection optical system, and the intensity of exposure light directed from the projection optical system to the work is determined. The invention of claim 64 relates to a projection exposure method where the same specific matters as those of the invention of claim 62 are specified.

Claim 65 is dependent claim referring to claim 64.

10. The invention of claim 67 relates to a projection exposure apparatus for projecting a pattern provided on a projection original onto a work to expose it, wherein the apparatus comprises an illumination optical system for supplying exposure light in a wavelength band of 200 nm or less to the projection original and a projection optical system adapted to form an image varied by a predetermined projection magnification  $\beta$  of the pattern on the projection original on the work, the projection optical system comprises an aperture stop, a front lens group disposed between the aperture stop and the projection original, and a rear lens

group disposed between the aperture stop and the work, and the condition concerning the relationship between the amount of fluorite of the light-transmitting optical material of the projection optical system in terms of disk, the focal distance of the rear lens group, and the maximum numerical aperture on the image side of the projection optical system is determined.

Claims 68-84 are dependent claims referring to claim 67.

The inventions of claims 85, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 120, 123, 124 relate to a subject matter that comprises a projection optical system specified in claim 67 and is specified in various categories.

Claim 86-98, 108-119, 120-122 are dependent claims referring to claim 85.

The invention of claim 104 relates to a projection exposure apparatus for projecting a pattern on a projection original onto a work to expose it, wherein the apparatus comprises an illumination optical system for supplying exposure light in a wavelength band of 200 nm or less to the projection original and a projection optical system adapted to form an image varied by a predetermined projection magnification  $\beta$  of the pattern on the projection original, the projection optical system comprises an aperture stop, a front lens group disposed between the aperture stop and the projection original, and a rear lens group disposed between the aperture stop and the work, and the condition concerning the relationship among the amount of fluorite of the light-transmitting optical material of the projection optical system in terms of disk, the focal distance of the rear lens system, and the maximum numerical aperture on the image side of the projection optical system is determined, which is a modification of the condition specified in claim 67.

Claims 105, 106 are dependent claims referring to claim 104.

The groups of inventions of claims 1-10 do not include any common technical matters that are novel and not anticipated by the prior art.

Therefore there are no common technical matters considered to be special technical features defined in PCT Rule 13.2.

The subject matter of group 1 of inventions is known as disclosed in, e.g., the cited prior art document JP, 11-133301, A (Nicon corporation),

June 21, 1999 (21. 05. 99) and relates to a projection optical system which is telecentric on both sides, that is, first and second surfaces and which has a lens system where separate front and back lens groups are provided on both sides of an aperture stop, and the condition specified in claim 1 is satisfied. The specific technical matters specified in claim 1 are not novel ones, and therefore are not considered to be special technical features defined in PCT Rule 13.2.

The inventions of dependent claims directly referring to claim 1 are not so linked as to form a single inventive concept and further divided into sub-groups (1), (2, 3), (4, 5, 7), (6), (8-12), (13), (14), (15), and (57-59, 63, 66).

The subject matter of group 6 of inventions is also known as disclosed in, e.g., the cited prior art document JP, 11-133301, A (Nicon corporation), May 21, 1999 (21. 05. 99) and relates to a projection optical system having a lens system in which the condition concerning the relationship between the overall thickness along the optical axis of a light-transmitting refractive member disposed in an optical path of the projection optical system and the distance from the first surface to the second surface is satisfied. The specific matters specified in claim 32 are not novel ones. Therefore the specific matters are not common technical matters considered to be special technical features defined in PCT Rule 13.2.

Therefore the inventions of dependent claims directly referring to claim 32 are not so linked as to form a single general inventive concept and further divided into sub-groups (32), (33), (34), (35), (36), (37), (38-40), (41), and (42).

Therefore these groups (including sub-groups) of inventions involve no common technical matters considered to be special technical features defined in PCT Rule 13.2 and are not so linked as to form a single general inventive concept. Therefore, these groups of inventions do not fulfill the requirement of unity of invention.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>7</sup> G02B13/24, G02B13/18, H01L21/027, G03F7/20		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>7</sup> G02B13/24, G02B13/18, H01L21/027, G03F7/20		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1926-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2000年 日本国登録実用新案公報 1994-2000年 日本国実用新案登録公報 1996-2000年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP, 11-133301, A (株式会社ニコン) 21. 5月. 1999 (21. 05. 99) 全文、全図 (ファミリーなし)	1
X	US, 5808814, A (Nikon Corporation) 15. 9月. 1998 (15. 09. 98) 全文、全図 & JP, 10-115779, A, 全文、全図	1
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	18. 12. 00	国際調査報告の発送日
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 森 内 正 明 印 2V 9222 電話番号 03-3581-1101 内線 3269

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP, 9-329742, A (株式会社ニコン) 22. 12月. 1997 (22. 12. 97) 全文、全図 (ファミリーなし)	1

## 第 I 欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第 1 ページの 2 の続き)

法第 8 条第 3 項 (PCT 17 条 (2) (a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査することを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であって PCT 規則 6.4 (a) の第 2 文及び第 3 文の規定に従って記載されていない。

## 第 II 欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第 1 ページの 3 の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

特別ページ 第 I I 欄の続きを参照

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

請求の範囲 1

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

## 第 I I 欄の続き

1. 請求の範囲 1 の発明は、第 1 面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用により第 2 面上に結像させる屈折型の投影光学系において

前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて、正の屈折力を有する前レンズ群と

；  
前記前レンズ群と前記第 2 面との間の光路中に配置されて、正の屈折力を有する後レンズ群と；

前記前レンズ群の後側焦点距離近傍に配置された開口絞りと；を有し K、前記投影光学系は、前記第 1 面及び前記第 2 面側がテレセントリックであり、第 2 群との焦点距離と第 1 面から第 2 面までの距離との条件を設定した発明である。

また、請求の範囲 2-14 は、請求の範囲 1 を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

また、請求の範囲 15 は、請求の範囲 1 に記載の特定事項と同じ特定事項を特定した投影光学系の製造方法の発明である。

請求の範囲 57-59、63、66 は請求の範囲 1 を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

2. 請求の範囲 16 は、第 1 面上のパターンの像を光透過性屈折部材の作用により第 2 面上に結像させる屈折型の投影光学系において、屈折力を持つ 3 個以上のレンズを有し、前記屈折力を持つレンズを前記第 1 面側から順に 3 個選択したときに、該 3 個のレンズの少なくとも一面が負の屈折力を持つ非球面形状である点を特徴とする発明である。

3. 請求の範囲 17 は、第 1 面上のパターンの像を光透過性部材の作用により第 2 面上に結像させる屈折型の投影光学系において、屈折力を持つ複数のレンズを有し、前記屈折力を持つレンズを前記第 1 面から順に 2 個選択したときに、該 2 個のレンズの少なくとも一面が非球面であり、該非球面の光軸中心付近のローカル主曲率と該非球面のレンズ有効径最周辺部のメリジオナル方向のローカル主曲率との関係に関する条件を特定した発明である。

4. 請求の範囲 18 は、第 1 面上のパターンの像を光透過性部材の作用により第 2 面上に結像させる屈折型の投影光学系において、屈折力を持つ複数のレンズを有し、前記屈折力を持つレンズを前記第 1 面から順に 4 個選択したときに、該 4 個のレンズの少なくとも一面が非球面であり、該非球面の光軸中心付近のローカル主曲率と該非球面のレンズ有効径最周辺部のメリジオナル方向のローカル主曲率との関係に関する条件を特定した発明である。

また、請求の範囲 19 は、請求の範囲 18 において特定している特定事項と同様の特定事項を特定した、屈折型の投影光学系の製造方法の発明である。

5. 請求の範囲 20 は、第 1 面上のパターンの縮小像を第 2 面上に結像させる投影光学系において、第 1 面側より順に、負の屈折力を有する第 1 レンズ群、正の屈折力の第 2 レンズ群、負の屈折力の第 3 レンズ群、正の屈折力の第 4 レンズ群、開口絞り、及び正の屈折力を有する第 5 レンズ群を有し、第 1 レンズ群と第 2 レンズ群の合成横倍率と第 1 面から第 2 レンズ群の最も前記第 2 面側のレンズ面までの距離と、第 1 面から第 2 面までの距離との関係に関する条件を規定した発明である。

また、請求の範囲 21-30 は、請求の範囲 20 を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

また、請求の範囲 31 は、請求の範囲 21 において特定している特定事項と同様の特定事項を特定した、投影光学系の製造方法の発明である。

6. 請求の範囲 32 は、第 1 面上のパターンの縮小像を第 2 面上に結像させる投影光学系において、前記投影光学系の光路中に配置される少なくとも 1 つの光透過性屈折部材を含み、前記投影光学系の光路中に配置される光透過部材の光軸に沿った厚さの総和と第 1 面か

ら第2面までとの距離の関係を関係づける条件を既定した発明である。

また、請求の範囲33-41は、請求の範囲32を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

また、請求範囲42は請求の範囲32において特定している特定事項と同様の特定事項を特定した、投影光学系の製造方法の発明である。

7. 請求の範囲43は、第1面上の 패턴の縮小像を第2面上に結像させる投影光学系において、少なくとも3面以上の非球面形状のレンズ面を有し、前記投影光学系中の光透過性屈折部材のうち屈折力を有する部材の数の総和と、非球面形状のレンズ面が設けられた部材の数の総和との関係を関係づける条件を規定した発明である。

また、請求の範囲44-55は、請求の範囲43を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

また、請求の範囲56は、請求の範囲42において特定している特定事項と同様の特定事項を特定した、投影光学系の製造方法の発明である。

8. 請求の範囲60は、投影原版に設けられた图案の縮小像をワーク上へ投影露光する投影露光装置において、180nm以下の波長域の露光光を供給する光源と、該光源からの露光光を前記投影原版上の前記图案へ導く照明光学系と、と、前記投影原版と前記ワークとの間の光路中に配置されて、前記投影原版を介した前記露光光の光量の25%以上の光量を前記ワークへ導いて前記图案の縮小像を前記ワーク上に形成する投影光学系と；を備えた点の特徴とする発明である。

また、請求の範囲61は、請求の範囲60を引用する、従属形式の請求の範囲の発明である。

9. 請求の範囲62は、投影原版に設けられた图案の縮小像をワーク上へ投影露光する投影露光装置において、200nm以下の波長域の露光光を供給する光源と；該光源からの露光光を前記投影原版上の前記图案へ導く照明光学系と；前記投影原版と前記ワークとの間の光路中に配置されて、前記投影原版を介した前記露光光を前記ワークへ導いて前記图案の縮小像を前記ワーク上に形成する投影光学系と；を備えて、光源から照明光学系へ向かう露光光の光量、照明光学系から投影原版へ向かう露光光の光量、投影光学系へ入射する露光光の光量、投影光学系からワークへ向かって射出する露光光の光量との関係を関係づける条件を既定した発明である。

また、請求の範囲64は、請求の範囲62において特定している特定事項と同様の特定事項を特定した、投影露光方法の発明である。

また、請求の範囲65は、請求の範囲64を引用する、従属形式の請求の範囲の発明である。

10. 請求の範囲67は、投影原版上の图案をワーク上に投影露光する投影露光装置において、200nm以下の波長の露光光を前記投影原版へ供給する照明光学系と；前記投影原版上の图案の像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとで前記ワーク上に形成する投影光学系を備え、前記投影光学系は、開口絞りと、該開口絞りと前記投影原版との間に配置された前レンズ群と、前記開口絞りと前記ワークとの間に配置された後レンズ群とを有し、前記投影光学系中の光透過性光学材料の蛍石の量をディスクに換算した量と後レンズ群の焦点距離と投影光学系の像側の最大開口数との関係を関係づける条件を規定した発明である。

また、請求の範囲68-84は、請求の範囲67を引用する、従属形式の請求の範囲の発明である。

また、請求の範囲85、99、100、101、102、103、107、120、123、124は、請求の範囲67において特定している投影光学系を備えた種々のカテゴリで規定した発明である。

また、請求の範囲86-98、108-119、120-122は前記請求の範囲を引用

する、従属形式の請求の範囲の発明である。

また、請求の範囲104は、投影原板上のパターンをワーク上に投影露光する投影露光装置において、200nm以下の波長の露光光を前記投影原版へ供給する照明光学系と；前記投影原板上のパターンの像を所定の投影倍率 $\beta$ のもとで前記ワーク上に形成する投影光学系を備え、前記投影光学系は、開口絞りと、該開口絞りと前記投影原版との間に配置された前レンズ群と、前記開口絞りと前記ワークとの間に配置された後レンズ群とを有し、前記投影光学系中の光透過性光学材料の蛍石の量をディスクに換算した量と後レンズ群の焦点距離と投影光学系の像側の最大開口数との関係に関係づける条件として、請求の範囲67をより減縮した条件を規定した発明である。

また、請求の範囲105-106は、請求の範囲104を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

まず、発明の群1-10の間において、従来技術に対して新規なものとしての共通事項は存在しない。

よって、上記発明の群同士で、PCT規則13.2の意味において特別の技術的特徴と考えられる共通事項は存在しない。

また、発明の群1.については、例えば公知の先行文献例JP, 11-133301, A (株式会社ニコン)、21.5月.1999(21.05.21)にあるように第1面及び第2面の両側にテレセントリックである投影光学系において、開口絞りを境にして、前レンズ群と後レンズ群に分けられ、請求の範囲1に規定の条件を満足するレンズ系自体は知られており、請求の範囲1において特定している特定事項も新規な事項ではないので、前記事項もPCT規則13.2の意味において特別の技術的特徴と考えられる共通事項とはいえない。

したがって、請求の範囲1を直接引用している従属形式の請求の範囲の発明同士は、単一の一般的発明概念を形成する連関している一群とはいえないので、さらに分解され、請求の範囲(1), (2-3), (4-5.7), (6), (8-12), (13), (14), (15), (57-59, 63, 66)の部分群に分解される。

また、発明の群6.についても、同様に先行文献例JP, 11-133301, A (株式会社ニコン)、21.5月.1999(21.05.21)にあるように投影光学系において、その光路中に配置される光透過性屈折部材の光軸に沿った厚さの総和と第1面から第2面までの距離との関係に関係づける条件を満足するレンズ系が記載されており、請求の範囲32において特定している特定事項も新規な事項ではないので、前記事項もPCT規則13.2の意味において特別の技術的特徴と考えられる共通事項とはいえない。

したがって、請求の範囲32を直接引用している従属形式の請求の範囲の発明同士は、単一の一般的発明概念を形成する連関している一群とはいえないので、さらに分解され、請求の範囲(32), (33), (34), (35), (36), (37), (38-40), (41), (42)の部分群に分解される。

よって、上記発明の群(部分群も含む)同士で、PCT規則13.2の意味において特別の技術的特徴と考えられる共通事項は存在してなく、前記発明の群同士は、単一の一般的発明概念を形成する連関している一群の発明であるとはいえない。

したがって、前記発明の群同士は、単一性を満足する関係であるとはいえない。